



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et**  
**De la Recherche Scientifique**



**Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen**  
**Faculté de Technologie**  
**Département de Génie Mécanique**

**Mémoire pour l'Obtention du**  
**DIPÔLME MASTER en Génie Mécanique**  
**Option : Génie Thermique et Énergies Renouvelables**

**Thème :**

---

**PERFORMANCE EN ÉTÉ, DE LA CHEMINÉE SOLAIRE SUR TOIT  
INCLINÉ PAR LA VENTILATION NATURELLE**

---

**Présenté par :**

**M. BOUANANI Mohammed**

**M. DJELAILI Abdelbaki**

**Encadré par :**

**M. KORTI Abdel Illah Nabil**

**Composition du jury:**

<b>Président</b>	<b>M. KHADRAOUI Yahia</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
<b>Examineur</b>	<b>M.BENRAMDANE Mohammed</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
<b>Examineur</b>	<b>M.SELADJI Chakib</b>	<b>Université de Tlemcen</b>

**Année Universitaire 2011-2012**

*Nous dédions cet humble travail*

*À, nos parents qu'ils sont toujours les plus chers*

*À nos frères et nos sœurs*

*À tous les membres de nos familles, grands et petits.*

*À tous nos amis.*

# Remerciement

*Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail, mais il faut avouer que les formules sont nombreuses et que le choix des bons mots a été toujours difficile. Entre vifs, sincères, généreux et profonds.*

*Nous commencerons par remercier le bon dieu tout puissant, de nous 'avoir donné le courage et l'optimisme de finir ce travail, et sincèrement remercier ceux qui ont accepté de juger ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos immenses gratitudee à nos parents, nos frères, nos sœurs et l'ensemble de nos proches, pour leur soutien permanent et leur encouragement tout au long de ces années, sans lesquels nous n'aurons jamais mené à bien ce travail.*

*Nous tenons tout particulièrement à remercier notre encadreur, Monsieur KORTI Abdel Illah Nabil, qui sans sa patience, générosité et surtout discipline, ce travail n'aurons vouent le jour.*

*Nous remercions également nos proches collègues.*

*Nous tenons à remercier tous les enseignants, qui depuis notre entrée au génie mécanique ont contribués de près ou de loin à notre formation.*

*Nous remercions vivement monsieur KHADRAOUI yahia, Professeur à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Nous remercions vivement monsieur BENRAMDANE Mohammed, MA-A à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté à participer au jury de ce mémoire.*

*Nos remercions vivement monsieur SELADJI Chakib, MC-A à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté à participer au jury de ce mémoire.*

# SOMMAIRE

**Introduction Générale** ..... 1

## **Chapitre I : Etude bibliographique**

I.1. étude paravent ..... 4

## **Chapitre II : Gisement Solaire**

II.1 Introduction ..... 11

II.2 Mesure du rayonnement solaire : ..... 12

    II.2.1 LE Radiomètre ..... 12

    II.2.2 Le Pyranometre ..... 13

    II.2.3 LE Pyrhéliomètre ..... 13

II.3 Sphère céleste ..... 13

II.4. Coordonnées célestes ..... 14

    II.4.1 Coordonnées géographique ..... 14

    II.4.2 Coordonnées horaires ..... 14

    II.4.3 Coordonnées horizontales ..... 15

II.5 Temps solaire ..... 16

    II.5.1 Temps solaire vrais (TSV) ..... 16

    II.5.2 Temps solaire moyen (TSM) ..... 16

    II.5.3 Le temps civil (TC) ..... 17

    II.5.4 Le temps universel (TU) ..... 17

    II.5.5 Le temps légal (TL) ..... 17

II.6 Estimation horaire de l'enseillement ..... 18

    II.6.1 constante solaire ..... 18

    II.6.2 Répartition du rayonnement solaire ..... 19

II.7 Le grand Sahara Algérien(GSA) ..... 21

II.8 conclusion ..... 21

**Chapitre III : Ventilation Naturelle**

III.1 Introduction.....	24
III.2 Les différents polluants : .....	24
III.2.1 Pneumallergènes.....	25
III.2.2 Tabac .....	25
III.2.3 Monoxyde de carbone .....	25
III.2.4 Composés organiques volatils .....	26
III.2.5 Radon.....	26
III.2.6 Humidité : un polluant particulier .....	26
III.3 la ventilation Naturelle.....	26
III.3.1 le principe.....	26
III.3.2 Gestion des Flux .....	27
III.3.2.1 Flux traversant .....	28
III.3.2.2 Flux dirigés .....	29
III.3.2.3 contrôle du flux .....	30
III.3.3 Le phénomène de convection .....	31
III.3.4 Les différents modes de ventilation pour une efficacité différente :.....	33
III.3.4.1 Les conduits d'air .....	32
III.3.4.2 Premier moteur de la ventilation naturelle : le vent .....	34
III.3.4.3 Second moteur de la ventilation : le gradient thermique.....	35
III.3.4.3.1 Approche théorique des pressions thermique. ....	36
III.3.5 Effet de tirage thermique .....	37
III.4 Comparaison avec la ventilation mécanique .....	38
III.4.1 Les différentes techniques .....	38
III.4.1. a /VMC simple flux.....	38
III.4.1. b/Simple flux auto réglable .....	39
III.4.1. c/Simple flux hygroréglable .....	40

III.4.1. /dVMC Gaz.....	40
III.4.1.e/VMC Double Flux .....	40
III.4.1.f/la VMC double dites « thermodynamique » .....	42
III.4.2 Avantages et inconvénients .....	42
III.4.2.1 Les contraintes générales de la ventilation mécanique .....	42
III.4.2.2 Les avantages et les inconvénients de la ventilation naturelle .....	43
III.5 cheminées solaires (ou thermqie) .....	45
III.5. 1 Introduction : .....	45
III.5. 2 Description.....	45
III.5. 3 principe .....	46
III.5. 4 Fonctionnement : .....	47
III.6 Dispositifs Architecturaux pour améliorer la ventilation .....	48
III.6.1 Tours à vent .....	48
III.6. 2 Double peau .....	50
III.6. 3 Le puits canadien .....	52
III.6. 4 Les fenêtres.....	53
III.7Conclusion .....	54

### **Chapitre IV : Déposition de problème**

IV.1Introduction : .....	57
IV.2Principe de fonctionnement de la cheminée solaire .....	57
IV.2.1 Bilan énergétique au niveau de vitrage.....	58
IV. 2.2 Bilan énergétique au niveau de cheminée : .....	59
IV. 2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur : .....	60
IV.3Corrélation théorique pour calculer les coefficients de transfert thermique .....	62
IV.5 Organigramme du programme effectué pour le calcul numérique de la cheminée solaire.....	64

## Chapitre V : Résultats et discussions

V.1 Introduction.....	66
V.1.2 donnée du problème.....	66
V.2 Validation du modèle mathématique .....	67
V.3 Discussions des résultats théoriques.....	68
V.3.1. Influence du rayonnement solaire.....	68
V.3.2 Influence de l'inclinaison.....	72
V.4 Conditions climatiques de Tlemcen.....	75
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>81</b>

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit une première fois l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque, étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence du risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

On s'est vite aperçu que l'énergie solaire, contrairement à une idée répandue, n'est pas tout à fait gratuite : son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les sources d'énergie conventionnelles et nombre d'installations solaires sont aujourd'hui à l'arrêt faute d'avoir prévu un budget pour la maintenance des équipements.

Toutefois, sans être totalement gratuite, l'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre dans certains cas une alternative économiquement rentable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles. Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront) mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejets polluants (fumées contenant du CO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub> par les centrales thermiques), pas de danger radioactif et de déchets encombrants (centrales nucléaires).

L'air climatisé et la ventilation mécanique sont depuis des décennies la méthode standard pour le contrôle de l'ambiance de nombreux types de bâtiments, et spécifiquement les immeubles de bureau dans les pays



développés. La pollution et le souci de la consommation d'énergie ont conduit à une nouvelle approche de la conception des bâtiments plus respectueuse de l'environnement. Des technologies innovantes alliées aux principes d'architecture bioclimatique et à ceux des constructions traditionnelles sont souvent utilisées pour créer de nouvelles solutions potentiellement fructueuses. La cheminée solaire est un des concepts actuels étudiés aussi bien par les scientifiques que par des ingénieurs, principalement au travers de la recherche et de l'expérimentation.

Une cheminée solaire peut être utilisée à différentes fins. Le gain de l'exposition directe réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée lui permettant de s'élever et d'aspirer celui venant du bas. Cette aspiration peut être utilisée pour ventiler des maisons ou des bureaux, pour pomper l'air d'un puits provençal ou pour aérer des endroits spécifiques comme des toilettes sèches.

### **Organisation du travail :**

Cette étude comporte cinq chapitres :

Le premier chapitre de ce mémoire est réservé à une étude bibliographique les plus récents dans le domaine des cheminées solaires.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude de gisement solaire.

Le troisième chapitre est réservé pour traiter la ventilation naturelle avec ses types et des améliorations proposé pour l'optimiser.

Le quatrième chapitre est consacré pour l'étude mathématique et la rédaction des bilans énergétique au niveau des composants de la cheminée solaire.

Le cinquième chapitre nous évaluerons et discuterons les résultats de la simulation par le langage MATLAB.

## CHAPITRE II :

# GISEMENT SOLAIRE

**II.1 Introduction :**

L'énergie solaire est disponible partout sur la planète avec des degrés diverse. Elle est entièrement renouvelable avec un apport variable, au gré des jours et des saisons. Mais, elle est relativement prévisible avec une puissance maximale de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Même si elle est relativement diluée, son apport énergétique annuel pourrait répondre par des milliers de fois à la consommation énergétique de la plupart des pays, à l'exception de ceux très industrialisés.

Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, la quantité restante demeure encore importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur  $1000 \text{ W/m}^2$  crête dans les zones tempérées . Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend de :

- ✓ L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre,
- ✓ La latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude,
- ✓ La période de l'année,
- ✓ L'instant considéré dans la journée,
- ✓ La nature des couches nuageuses.

Ainsi, il existe des zones dans le monde plus favorisées que d'autres du point de vue ensoleillement. Elles sont répertoriées sous forme d'atlas et mettent en évidence les «gisements solaires». Ainsi, si l'on considère des zones à climat sec et possédant un taux d'ensoleillement important dans l'année, le flux solaire peut être facilement modélisable et prévisible en fonction des heures de la journée et des jours de l'année. Si, au contraire, on considère des zones plus défavorables, souvent ventées et présentant un temps nuageux

alternant avec des périodes d'ensoleillement sur plusieurs journées par an, l'irradiation change rapidement et dans de larges proportions. Il est alors difficile de faire des prédictions fines sur le taux d'irradiation sur un lieu et une heure précise.

Naturellement, le soleil a toujours attiré l'attention de l'humanité et a été le sujet du culte par beaucoup de cultures au cours des milléniums, tels que les Égyptiens, Incas, Grecs, et Mayens, parmi beaucoup d'autres. Le potentiel de l'énergie solaire de produire la chaleur et l'électricité à fournir pour nos économies modernes dans une série d'activités productives a été largement démontré mais pas encore largement adopté autour du globe dû aux combustibles fossiles relativement bon marché. Bien que la source d'énergie solaire soit inépuisable et libre, ce n'est pas la source d'énergie la plus commode parce qu'il n'est pas constant pendant le jour et n'est pas aisément expédié. En revanche, les styles de vie modernes exigent un approvisionnement en énergie continu et fiable. Cependant, il y a des manières de surmonter ces déficits.

## **II.2 Mesure du rayonnement solaire :**

Pour mesurer le rayonnement solaire au niveau de sol on peut utiliser les instruments suivants:

### **II.2.1 LE Radiomètre :**

Le radiomètre est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin.

## II.2.2 Le Pyranometre:

Le pyromètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.

## II.2.3 Le Pyrhéliomètre :

Le pyrhéliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

## II.3 Sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps. (Figure II.1)

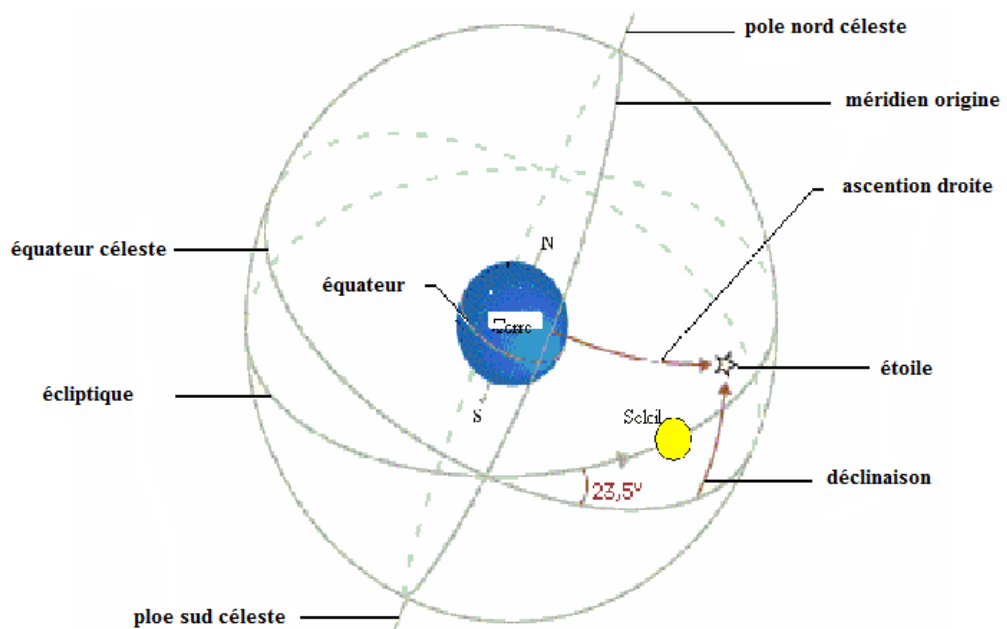


Figure II.1 : la sphère céleste

## II.4 Coordonnées célestes :

### II.4.1 Coordonnées géographique :

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

**a. La longitude (L) :** est comptée positivement de  $0^\circ$  à  $+180^\circ$  vers l'est et négativement de  $0^\circ$  à  $-180^\circ$  vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

**b. La latitude ( $\phi$ ) :** permet de récupérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle est comptée positivement de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  vers le nord et négativement de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le sud.

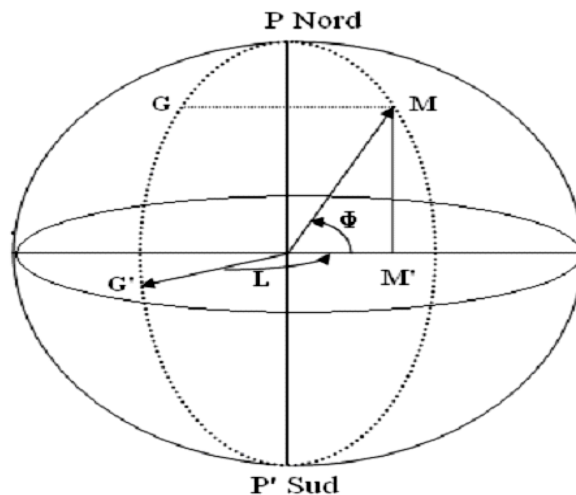


Figure II.2 : Les coordonnées géographiques.

### II.4.2 Coordonnées horaires :

**a/L'angle horaire ( $\omega$ ) :** est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de  $0^\circ$  à  $+360^\circ$ , sidérale vaut donc  $15^\circ$  d'angle et  $\omega=0^\circ$  (12h:00) au méridien de Greenwich.

**b/ La déclinaison ( $\delta$ ) :** c'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de  $+23^\circ 27'$  à  $-23^\circ 27'$  et

détermine l'inégalité des durées des jours.  $\delta$  est donnée par la relation suivante [1, 2, 3,4] :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(N + 284)\right) \quad \text{II.1}$$

$N$  : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du janvier (1 à 366).

Elle est comptée positivement de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  de (E) vers P (pole boréal), et négativement de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  de (E) vers P' (pole austral).

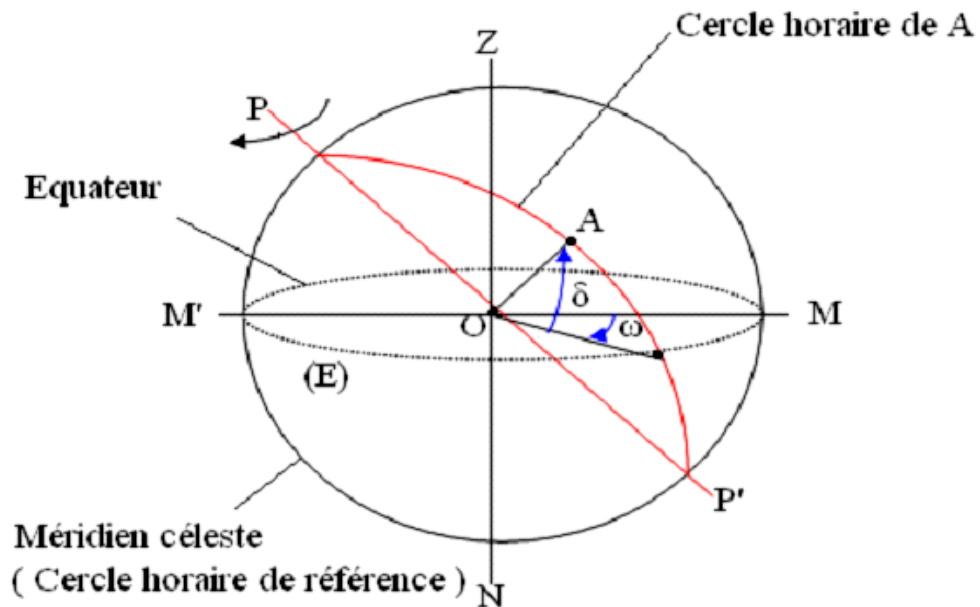


Figure II.3 : Les coordonnés horaires

**II.4.3 Coordonnées horizontales :**

*a. La hauteur (h) :* est l'angle entre la direction du soleil et sa projection. Elle est comptée positivement de  $0^\circ$  à  $+90^\circ$  vers le zénith et négativement de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le nadir.

*b. L'azimut (a)* : est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0° à -180° vers l'est.

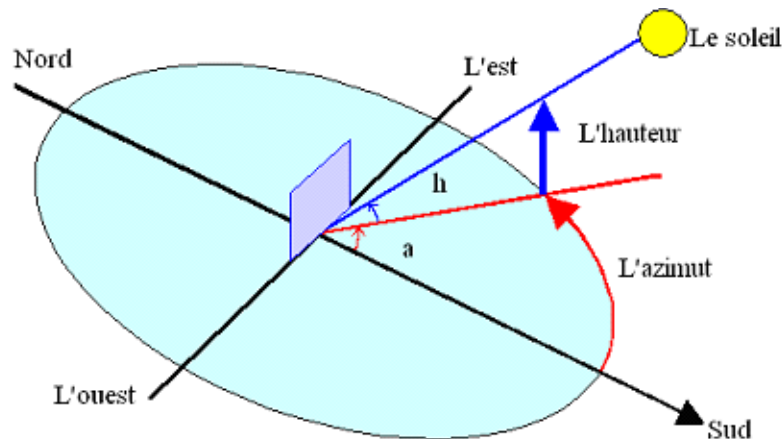


Figure II.4 : Les coordonnées horizontales

## II.5 Temps solaire :

### II.5.1 Temps solaire vrais (TSV) :

Le temps solaire vrais, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil, ce temps est indiqué par les cadrans solaires et les héliographes, Il est donné par la relation suivante [1, 6] :

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad \text{II.2}$$

### II.5.2 Temps solaire moyen (TSM) :

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante :

$$TSV = TSM - E_t \quad \text{II.3}$$



Où :

$$E_t = 9.87 \sin \left[ 2 \frac{360}{365} (N - 81) \right] - 7.53 \cos \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] - 1.5 \sin \left[ \frac{360}{365} (N - 81) \right] \quad \text{II.4}$$

$E_t$  : est l'équation du temps exprimée en minutes.

$N$ : est le numéro du jour dans l'année.

### II.5.3 Le temps civil (TC) :

Le temps civil est le temps moyen avec l'origine à minuit.

### II.5.4 Le temps universel (TU) :

Le temps universel est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Greenwich Mean Time). Est donné par la relation suivante [1,6] :

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \quad \text{II.5}$$

Où :  $L$  est la longitude, tel que :

$L < 0$  : Pour les sites situés à l'Est de Greenwich.

$L > 0$  : Pour les sites situés à l'Ouest de Greenwich.

$L = 0$  : Pour les sites situés au méridien de Greenwich.

### II.5.5 Le temps légal (TL) :

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Est donné par la relation suivante [1,6] :

$$TL = TU + \Delta H \quad \text{II.6}$$

Où :

$\Delta H$  : est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

## II.6 Estimation horaire de l'ensoleillement :

### II.6.1 constante solaire :

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre - Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à  $1367 \text{ W/m}^2$  par C. FROHLICH et C. WEHRLI [5] du centre radiométrique mondial de Davos (Suisse), essentiellement d'après des résultats de mesures faites entre 1969 et 1980 par FROHLICH, 1978 [5] : sept séries de mesures effectuées par des radiomètres installés sur des fusées ou des ballons stratosphériques et une série de mesures effectuées par un radiomètre embarqué sur un satellite. Cette valeur de la constante solaire a été adoptée par la Commission des Instruments et des Méthodes d'Observation (CIMO) de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) en octobre 1981[5].

La relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire [1,20] :

$$I_c = I_0 [1 + 0.0034 \cos(30(m - 1) + N)] \quad \text{II.7}$$

Où :

$$I_0 = 1367 \text{ W/m}^2.$$

$m$  : Le numéro du mois dans l'année.

$N$  : Le numéro du jour dans le mois.

**II.6.2 Répartition du rayonnement solaire :**

Le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussière et les molécules de gaz. Le rayonnement solaire est ainsi divisé en deux composantes [2, 3] :

$$I_G = I_D + I_d \tag{II.8}$$

$I_G$  : est le rayonnement solaire global.

$I_D$  : est le rayonnement solaire direct.

$I_d$  : est le rayonnement solaire diffus.

**a. Le rayonnement direct :** c'est-à-dire la part du rayonnement qui traverse l'atmosphère sans rencontrer d'obstacles.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire direct [1]:

$$I_D = I_c \cdot a \cdot \cos(i) \cdot e^{-\left[\frac{b}{\sin h}\right]} \tag{II.9}$$

Tel que : a et b sont des coefficients de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

	Conditions normales	Ciel dégagé et très pur	Zone industrielle
a	0,88	0,87	0,91
b	0,26	0,17	0,43

**Tableau II.1 : Coefficients de trouble du ciel**

**b. le rayonnement diffus:** c'est-à-dire la part du rayonnement solaire qui est réfléchi ou absorbée par les particules de poussière et les molécules de gaz et atteint la surface de la terre dans tous les sens.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire diffus [1,3] :

$$I_d = \alpha_0 \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho(I_0 \sin h + \alpha_0) \frac{1-\cos\beta}{2} \quad \text{II.10}$$

Avec :

$$\alpha_0 = I_c \sin h \left[ 0.271 - 0.2939e^{-\left[\frac{b}{\sin h}\right]} \right] \quad \text{II.11}$$

Où :

$\rho$  : est l'albédo du sol, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

<i>Nature du sol</i>	<i>Albédo</i>
<i>Neige fraîche</i>	0.50 à 0.70
<i>Sol rocheux</i>	0.15 à 0.25
<i>Sol cultivé</i>	0.07 à 0.14
<i>Foret</i>	0.06 à 0.20
<i>Étendue d'eau</i>	0.05
<i>Neige ancienne</i>	0.8 à 0.9

**Tableau II.2 : Albédo typique de différents types de surfaces [15, 20]**

**II.7 Le grand Sahara Algérien(GSA) :**

Selon l'agence spatiale Allemande, le potentielle d'énergies renouvelables est plus important dans le bassin méditerranéen.

Le territoire du GSA, les zones arides et semi-arides occupent plus de 90% de la superficie totale du pays (2381745 Km<sup>2</sup>). Le temps d'insolation sur presque la quasi-totalité du territoire excède 2500 heures par ans et peut atteindre jusqu'à 3900 heures par ans (Hautes plaines et Sahara) (Tableau II.3). Le potentiel solaire Algérien c'est 37 milliards dem<sup>3</sup>, c'est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel.

Aires	Littoral	Hauts plateau Sahara
Surface 86 %	4	10
Temps d'ensoleillement (3500 h/ans)	2650	3000
Énergie reçue (2650 KWh/(m <sup>2</sup> .an))	1700	1900

**Tableau II.3 : Potentiel solaire en Algérie.**

**II.8 Conclusion :**

Les énergies renouvelables constituent de nouvelles voies pour garantir l'avenir. Face à la déplétion, il faut exploiter ces nouvelles énergies qui sont disponibles et qui constituent une source illimitée. Ce n'est qu'après le premier choc pétrolier de 1973 que les énergies renouvelables sont revenues sur le devant de la scène; l'envolée du cours de pétrole remet alors l'énergie solaire au goût du jour. Mais la chute rapide de l'or noir coupe très vite à cet élan pour le solaire. L'idée s'impose, que l'on dispose, d'énergie fossile pour suffisamment longtemps, hors les prévisions ne sont plus aussi optimistes et confirment la

déplétion. Le nouveau regain d'intérêt pour ces énergies renouvelables est accéléré par les menaces du réchauffement climatique.

## CHAPITRE III :

# LA VENTILATION NATURELLE

**III.1 Introduction :**

Nous passons aujourd'hui 80% à 90% de notre temps au sein de notre habitat ou dans un lieu clos. Ce renouvellement est indispensable pour conserver le confort et l'hygiène de nos logements. Une mauvaise qualité de l'air et donc une mauvaise aération pourrait entraîner certains dommages comme des maux de tête, fatigue, difficultés à respirer pour les occupants et de la condensation et moisissures pour les locaux.

Ventiler permet d'apporter un air neuf, d'évacuer l'air vicié et ainsi pourvoir à nos besoins en oxygène. La ventilation permet également d'évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, d'éliminer l'excès d'humidité et de fournir aux appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé. Alors que les systèmes de ventilation mécaniques se développent de plus en plus pour offrir un confort thermique satisfaisant, la ventilation naturelle est à nouveau au goût du jour, à la fois dans les habitations individuelles et dans les bâtiments publics.

Renouveler l'air n'est pas le seul objectif de la ventilation. Elle peut également être utilisée dans les régions plus arides pour modifier la température intérieure et pour créer une sensation de fraîcheur pour les bâtiments.

**III.2 Les différents polluants :**

Toutes les activités humaines produisent différentes formes de polluants en quantité plus ou moins dangereuse pour notre organisme et le bâtiment, comme par exemple : faire la cuisine, nettoyer, se doucher, prendre un bain, mettre du déodorant, des parfums, faire sécher du linge, peindre, bricoler, bouger, fumer, etc.

Les différentes sources et formes de pollution ont des impacts plus ou moins importants selon le temps pendant lequel nous y sommes exposés.



La respiration alimente les cellules en dioxygène et expulse du corps le dioxyde de carbone. L'air inspire contient environ 21% d'oxygène et 0,03% de gaz carbonique, alors que l'air expire en contient respectivement 17 % et 3,5%.

### **III.2.1 Pneumallergènes :**

Les logements peuvent dans certaines conditions présenter un terrain favorable à la prolifération d'organismes vivants indésirables : les acariens, les blattes, les moisissures. Ils sont responsables de 15 à 20% des maladies allergiques de la population, ce qui nécessite une hygiène de vie et de l'habitat.

### **III.2.2 Tabac :**

Plus de 3000 substances ont été identifiées dans la fumée de tabac dont la nicotine responsable de l'accoutumance, les goudrons, responsables des cancers, et le monoxyde de carbone. On a pu établir chez des enfants vivant au contact de fumeurs une augmentation des maladies respiratoires (asthme, infections, effet sur la croissance du poumon...). La fumée de tabac favorise l'apparition de l'asthme et augmente la fréquence et la gravité des crises.

### **III.2.3 Monoxyde de carbone :**

C'est un gaz très toxique qui, lorsqu'il est inhalé, se substitue à l'oxygène transporté dans le sang. La carence en oxygène provoque des intoxications plus ou moins graves, parfois mortelles. A ne pas confondre avec le gaz carbonique, l'intoxication par le monoxyde de carbone touche environ 5 000 personnes par an, provoquant une centaine de décès annuels.

**III.2.4 Composés organiques volatils :**

Peu de composés de cette famille, à l'exception du formaldéhyde et du benzène, on fait l'objet d'études importantes. On a identifié dans l'air des logements plusieurs centaines de ces substances.

**III.2.5 Radon :**

Le radon est un gaz naturel inerte et radioactif, dépourvu d'odeur, de couleur ou de goût. On en trouve en quantités variables dans toutes les roches et les sols de la planète.

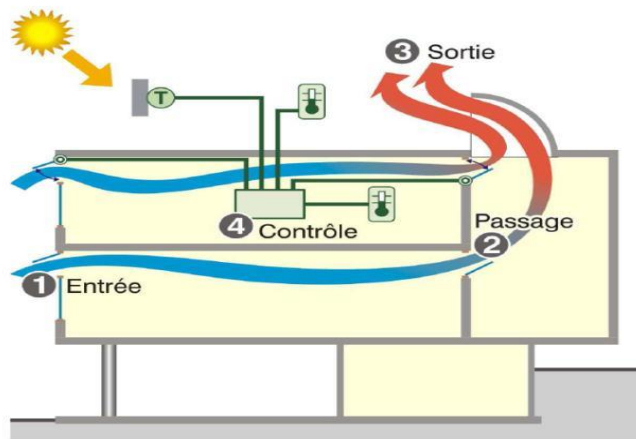
**III.2.6 Humidité : un polluant particulier :**

La vapeur d'eau n'est pas un polluant au sens où on l'entend habituellement. Cependant, l'humidité est la principale cause d'insalubrité. Elle favorise le développement des blattes, des allergènes, des acariens et la présence de moisissures. Elle a un impact direct sur la dégradation du bâti.

Sans ventilation, les matériaux s'imprègnent par condensation de l'humidité contenue dans l'air stagnant.

**III.3 la ventilation Naturelle :****III.3.1 le principe :**

La ventilation naturelle est le moyen de ventiler le plus élémentaire. Celle-ci est basée sur le simple fait que l'air chaud monte pour être évacué automatiquement par des ouvertures disposées à des endroits stratégiques. Ce principe nécessite alors aucune source d'énergie et s'effectue sans aucune nuisance sonore. Le fonctionnement de la ventilation naturelle existe depuis les temps les plus reculés. Elle convient parfaitement dans l'industrie, les centres commerciaux, les centrales thermiques, les bâtiments d'exposition, les entrepôts, les hôpitaux, les maisons de repos, et bien sûr aussi pour les maisons individuelles.



**Figure III.1: principe générale de la ventilation naturelle.**

L'utilisation de la ventilation naturelle existe depuis les temps les plus reculés, notamment dans les pays chauds du moyen orient et d'Afrique du Nord. Les moucharabiehs de l'Afrique du Nord, les Yazd Iranien, les badgirs (pièges à vents) du moyen Orient, sont autant de déclinaisons de ce système de renouvellement de l'air intérieur quelquefois associé à du rafraîchissement.



**Figure III.2:Badgir–Ville deYazd – Iran et Maquaf Egyptien**

### III.3.2 Gestion des Flux :

La gestion des flux est primordiale dans un système de ventilation naturelle. Dès le dessin d'épure du bâtiment, les dispositions de

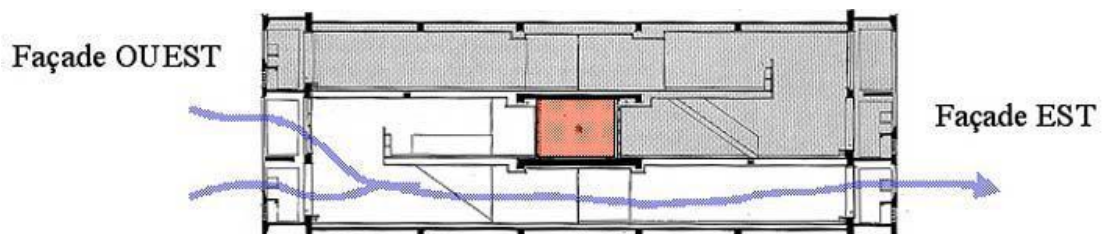
cloisonnements intérieurs devront avoir été pensées pour favoriser le rôle de la ventilation naturelle. C'est au niveau de la répartition de l'air neuf que le rôle de chaque élément du bâti va s'affirmer.

Le propre de la ventilation naturelle est de balayer l'ensemble des pièces du bâtiment et ainsi se répartir, sans l'aide d'un brassage mécanique (ventilateur). Une physionomie architecturale du bâtiment particulièrement étudiée devient indispensable.

Le brassage et la distribution spatiale de l'air neuf sont subordonnés à la réflexion menée sur la disposition des ouvertures sur les façades du bâtiment.

### **III.3.2.1 Flux traversant :**

L'orientation du bâtiment et la conformité du cloisonnement permettent un balayage complet. C'est souvent le vent qui sera le moteur principal et qui imposera à l'architecte tous les artifices permettant de favoriser le flux en créant des pressions et dépressions artificielles.

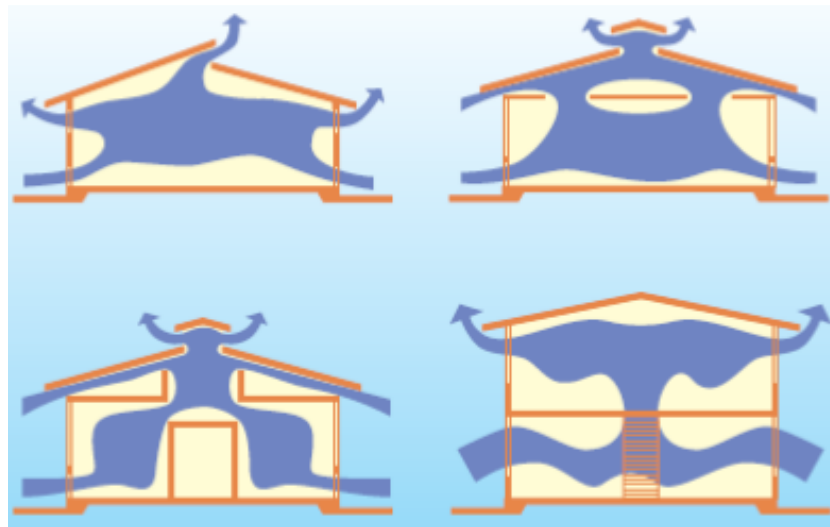


**Figure III.3 : l'unité d'habitation de Corbusier**

La taille du bâtiment, sa forme, les positions, géométries et dimensions des ouvertures, des débords de toiture, etc. interfèrent sur les mouvements d'air créés dans les locaux. Des sorties d'air plus grandes que les entrées, permettront par exemple de placer le bâtiment en sous-pression et d'obtenir ainsi une vitesse de l'air à l'intérieur supérieure à la vitesse à

l'extérieur. Afin de réaliser une installation dans les règles de l'art, les éléments suivants sont à prendre en compte :

- ✓ L'air en mouvement a une certaine inertie ; les filets d'air entrant dans les bâtiments ont donc tendance à garder la même direction.
- ✓ La direction des filets d'air à l'intérieur d'un bâtiment est influencée par la répartition des pressions sur la façade exposée au vent et par la forme de l'orifice d'entrée du vent. Le mouvement de l'air dans une pièce doit être considéré aussi bien en plan qu'en coupe.
- ✓ La hauteur du sous-plafond est sans influence sur le trajet de l'air.
- ✓ Le trajet du vent au travers d'une pièce n'est pas influencé par la vitesse du vent, mais seulement par la géométrie et l'existence des zones de haute et basse pression



**Figure III.4: Composition spatiale du bâtiment et écoulements d'air.**

### **III.3.2.2 Flux dirigés :**

Amenées d'air aménagées et dispositifs architecturaux construisent le flux d'air en utilisant essentiellement le principe des cheminées thermiques.

Soit l'air est récupéré dans les différents locaux par un réseau de gaines de grandes dimensions, soit il circule librement dans le bâtiment via

les portes, des impostes, des grilles intérieures ou un atrium (La première solution est la moins en accord avec les principes généraux de la ventilation naturelle qui devrait faire appel le plus souvent aux seules structures architecturales. Cependant elle trouvera toute sa pertinence en réhabilitation de l'habitat).

Les impostes vitrées sont une solution intéressante car elles permettent en plus un éclairage indirect du local adjacent. Cet éclairage peut contribuer à réduire les charges internes. Une automatisation du fonctionnement de ces éléments peut être envisagée, pour une utilisation nocturne.

Si en journée, la fermeture des portes et impostes se révèle nécessaire pour éviter la transmission de bruit entre les locaux, des grilles acoustiques sont une solution intéressante

### **III.3.2.3 contrôle du flux :**

Les objectifs de la gestion sont :

1. Assurer un débit adéquat, suffisant mais pas inconfortable. En l'absence de vent, ou par faible différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, les forces naturelles peuvent se révéler insuffisantes pour assurer un débit d'air important. Il sera alors intéressant de disposer d'un ventilateur d'appoint pour renforcer l'extraction. Ce ventilateur doit fonctionner seulement en appoint pour limiter la consommation d'énergie. Un ventilateur de type hélicoïdal sera tout indiqué pour ce type d'application, sa consommation étant d'environ 0.15 Wh/m<sup>3</sup>.
  - Éviter de trop refroidir le bâtiment.
  - Permettre la pérennité de l'équipement (fermeture en cas de vent violent, pluie, etc.).
2. Un contrôle manuel des entrées d'air est souvent efficace en journée, mais la gestion des évacuations centralisées sera de préférence automatisée pour l'adapter aux conditions météo et aux demandes des

différents locaux. Des sondes de présence, de température, une station météo, pourront selon les cas être utilisés en assistance.

3. Un fonctionnement de nuit impose l'automatisation complète (La règle générale en cas d'automatisation est de laisser à l'occupant - "formé" et connaissant le système - la possibilité d'y déroger selon sa propre sensation de confort ou sa préférence).

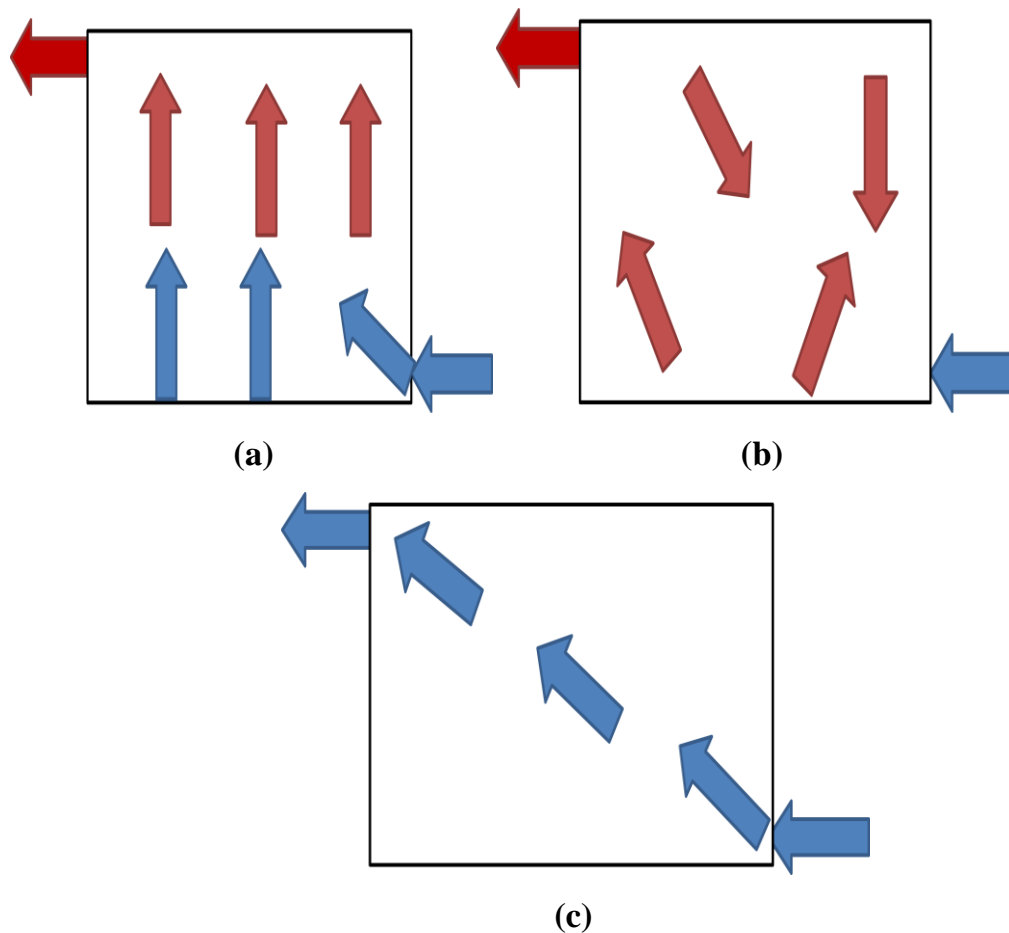
### **III.3.3 Le phénomène de convection :**

La ventilation naturelle repose alors sur ce phénomène unique, le phénomène de convection qui améliore le confort d'un bâtiment en créant des courants d'air, c'est à dire en mettant l'air en mouvement sans force mécanique. Ce principe utilise la circulation de l'air entre des points d'entrée et de sortie au niveau des menuiseries. L'air chaud monte et s'échappe par les sorties d'air du haut tandis que l'air froid est aspiré par les entrées d'air du bas.

Le système fonctionne dans un parfait silence et sans la moindre consommation d'énergie mais il y a d'importantes pertes de calories. Plus précisément, l'air chaud en entrant dans la maison, se dilate, devient moins dense et sa masse volumique est plus faible. Il devient léger et va donc s'échapper par le haut. En contrepartie, l'air frais se contracte, devient plus dense et sa masse volumique est plus grande. Il restera donc vers le bas pour renouveler l'air et rafraichir l'espace.

Le principal problème avec la ventilation naturelle est que dans les pays comme la France, avec des étés plus ou moins chauds, le renouvellement de l'air ne peut pas toujours s'effectuer. En effet, ce dernier ne peut s'effectuer que si la température intérieure est supérieure à la température extérieure. Il faudra donc le plus souvent ouvrir les fenêtres ou avoir recourt à un autre procédé naturel comme le puits canadien ou mécanique comme la VMC.

Une analyse fine des phénomènes de convection montre différents modes de répartition du flux avec des efficacités assez différentes :



**(a) :** Le mode "**piston**" est le plus rentable en termes de quantité d'air distribué. Il correspond à un déplacement de l'air vicié par l'air frais. De l'air un peu plus frais que l'air ambiant est amené dans la pièce par des bouches en partie basse. L'air frais se répartit sur toute la surface basse de la pièce. La chaleur dégagée par les occupants et les autres sources de chaleur, entraîne l'air vers le haut entraînant les polluants. Si le plafond est assez haut, l'air frais arrive à hauteur du visage des occupants. L'inconvénient d'un tel système est un ressenti possible d'une trop grande différence de température entre les pieds et la tête.

**(b) :** Le mode "**mélange**" permet d'obtenir une homogénéité parfaite dans la pièce. Ce système dépend alors de la vitesse à laquelle l'air entre dans la pièce. Il doit arriver à une vitesse relativement élevée par des grilles



ou des diffuseurs, pour qu'il se distribue dans l'ensemble du volume de la pièce.

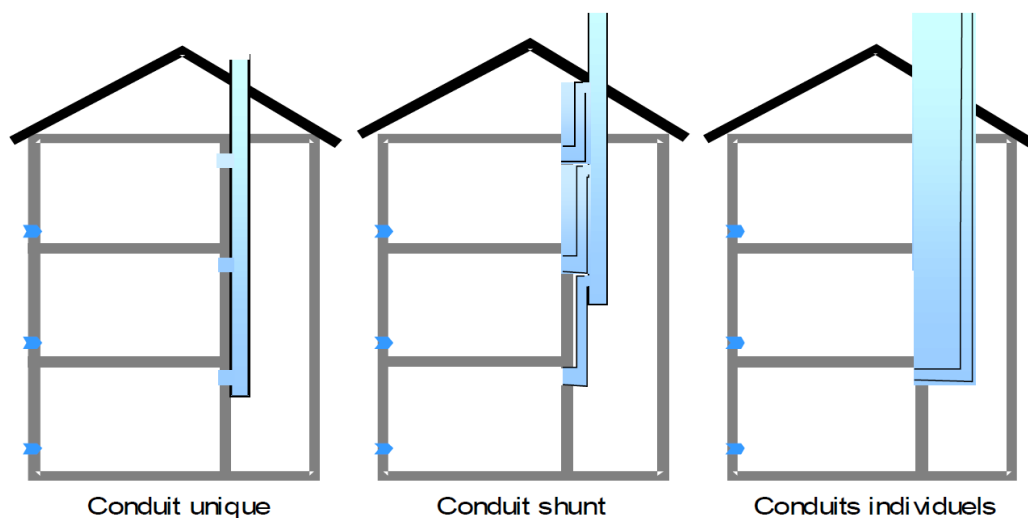
(c): Il faut éviter **les courts-circuits**, correspondant à des zones non ventilées, dites " mortes". Ce phénomène s'explique la plupart du temps par des bouches d'entrées et de sorties trop proches les unes des autres.

### III.3.4 Différents modes de ventilation pour une efficacité différente :

#### III.3.4.1 Les conduits d'air :

Les systèmes de ventilation naturelle utilisant des conduits permettent de surmonter la plupart des problèmes liés à la ventilation à simple exposition et à améliorer aussi quelquefois les stratégies de ventilation traversant en permettant d'équilibrer les débits d'air dans différentes pièces d'un bâtiment.

Ces dispositifs de captation de vent et d'équilibrage des pressions sont revisités aujourd'hui et fournissent des dispositifs modernes à plusieurs conduits. Dans ces systèmes, l'air rentre dans un conduit froid (comparativement aux conditions extérieures) puis est extrait par un conduit chaud, (comparativement aux conditions intérieures).



**Figure III.5 : Exemple d'intégration de conduits de ventilation naturelle**

**III.3.4.2 Premier moteur de la ventilation naturelle : le vent**

Le flux d'air, fait apparaître une pression sur l'extérieur du mur côté vent (face au vent), tandis qu'une dépression s'installe au en droit du mur sous le vent (derrière l'obstacle). L'air pénètre par les ouvertures de la façade face au vent et ressort dans la zone de dépression en conduit sur toiture ou par les ouvertures de la façade dos au vent. Si le bâtiment se présente avec un angle de 45° par rapport au vent, les surpressions et dépressions sont maximales et favorisent la ventilation.



**Figure III.6: Pression du vent sur un bâtiment**

En été et en demi-saison, il y a des risques de défaut de renouvellement de l'air si la température de l'air extérieur est supérieure à celle de l'air intérieur.

En hiver, le vent produit des mouvements d'air inconfortables et des déperditions de chaleur importantes par des débits parfois supérieurs à 1vol/h.

L'architecte devra faire un diagnostic des diverses caractéristiques du site permettant de déterminer les facteurs favorables et antagonistes à l'utilisation du vent pour la ventilation naturelle. Sur un site très venté (littoral Nord et Nord Est), il s'agira de déterminer la nature (courant météorologique ou thermique) et le type de vent (brises et vent faibles, vent

violent chaud en provenance du Sud, vent violent froid en provenance du Nord etc.).

Cette analyse s'appuiera sur des mesures et des statistiques. Elle lui permettra de construire une stratégie d'utilisation de ce moteur en considérant tous les éléments qui permettront de le contrôler. À une échelle très locale, la végétation, la topographie, l'orientation et le type de bâtiment sont les principaux facteurs d'influence sur l'utilisation du vent pour la ventilation.

Dans les climats froids, l'implantation d'un bâtiment neuf fera appel aux protections naturelles qu'apporte le terrain (végétation arbustive, buttes, reliefs). L'étude précise des régimes de vents dominants, selon les saisons lui permettra de choisir l'orientation optimum du bâtiment et de ses ouvertures mais également sa physionomie (emplacement des espaces tampons, forme extérieure de l'enveloppe etc.). Les constructions très denses en milieu urbain perturbent les courants d'air et peuvent rendre le flux insuffisant pour l'aération.

Des dispositifs architecturaux tels que les déflecteurs, girouettes, écopes, cheminées, seront dans ce cas intégrés au bâtiment pour accroître localement l'effet du vent ou permettre de mieux le capter. Ces surpressions et dépressions, créées la plupart du temps par effet Venturi (augmentation de vitesse de l'air), faciliteront l'évacuation de l'air vicié et l'entrée de l'air neuf.

#### **III.3.4.3 Second moteur de la ventilation : le gradient thermique**

L'air des différentes zones de l'habitat n'est pas à chaque endroit à la même température. La masse volumique de l'air est liée à sa température, par conséquent, deux masses d'air à des températures différentes induiront des pressions différentes. La pression exercée par l'air froid extérieur plus dense, est supérieure à celle de l'air chaud intérieur moins dense.

La pression de l'air au pied du bâtiment est également plus importante qu'au niveau de la toiture par différence de pression atmosphérique. Un phénomène d'équilibre de ces pressions provoquera donc un mouvement naturel de l'air.

Le tirage thermique est présent dans toutes les pièces équipées d'un conduit de cheminée ouvert. Certaines techniques architecturales visent à créer une dépression localisée, sous l'effet de la chaleur du soleil, qui devient le moteur de l'aspiration de l'air intérieur. Les principes d'architecture les plus employés sont le mur trombe, les serres, les façades doubles peaux, les cheminées de tirage thermique, les puits Canadiens etc.

### III.4.3.1 Approche théorique des pressions thermiques:

La pression hydrostatique de l'air est décrite par l'égalité suivante (Figure III.7) :

$$P(z)=P_0-\rho gz \quad \text{V.1}$$

Avec :

$P(z)$  = Différence de pression entre les zones.

$P_0$  = Pression au niveau de référence.

$\rho$  = masse volumique de l'air.

$Z$  = Altitude du point considéré pour la mesure.

L'équation fondamentale régissant les différences de pression devient :

$$\Delta P = \Delta \rho g \Delta H \quad \text{V.2}$$

Avec :

$\Delta P$  = Différence de pression entre les zones.

$\Delta \rho$  = Différence de masse volumique entre les masses d'air.

(Extérieure / intérieure ou entre deux zones intérieures).

$\Delta H$  = Différence entre les hauteurs des entrées et sorties d'air.

Appliquée à une différence de pression, entre l'air extérieur et l'air intérieur d'un local, et en introduisant la température qui induit fortement les variations de la masse volumique de l'air,  $\rho(T) = \rho(T_0) [1 - \beta (T - T_0)]$ , les égalités deviennent (Elles restent basées sur des approches empiriques) :

$$D = C_d S \sqrt{2 \frac{\Delta T}{T} g H} \quad \text{V.3}$$

Avec :

D = débit volumique dû à la différence de pression entre air extérieur et air intérieur.

C<sub>d</sub> = coefficient de décharge de l'ouverture.

S = surface de l'ouverture.

ΔT = différence entre la température de l'air extérieur et celle de l'air intérieur

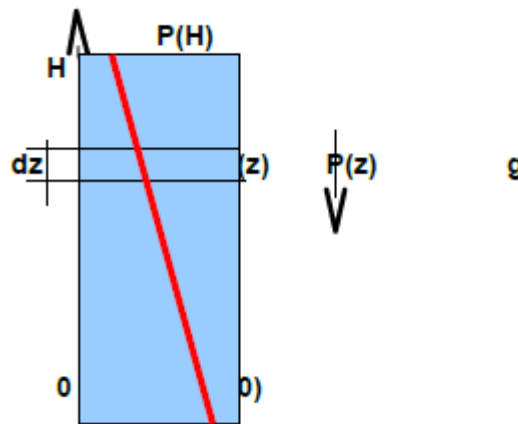
T = température de l'air extérieur

g = accélération de la pesanteur

H = hauteur entre l'entrée d'air (froid) basse et la sortie d'air (chaud) haute.

### **III.3.5 Effet de tirage thermique :**

Un autre phénomène physique qui influence les infiltrations et les transferts aérauliques entre zones d'un bâtiment est le phénomène de tirage thermique dû aux différences de densité de l'air entre deux zones voisines liées à leur différence de température ou de teneur en eau.



**Figure III.7: Variation de pression hydrostatique au sein d'un fluide**

Le phénomène physique de base est ici la pression hydrostatique due à l'air. Dans un fluide au repos, soumis à un champ de gravité  $g$ , la pression élémentaire due à une couche de fluide d'épaisseur  $dz$  s'écrit :

$$dP = - \rho g dz \quad \text{V.4}$$

D'où :

$$P_{(z)} = -\rho g[z]_0^z \quad \text{V.5}$$

Ou encore :

$$P_{(z)} = P_0 - \rho g z \quad \text{V.6}$$

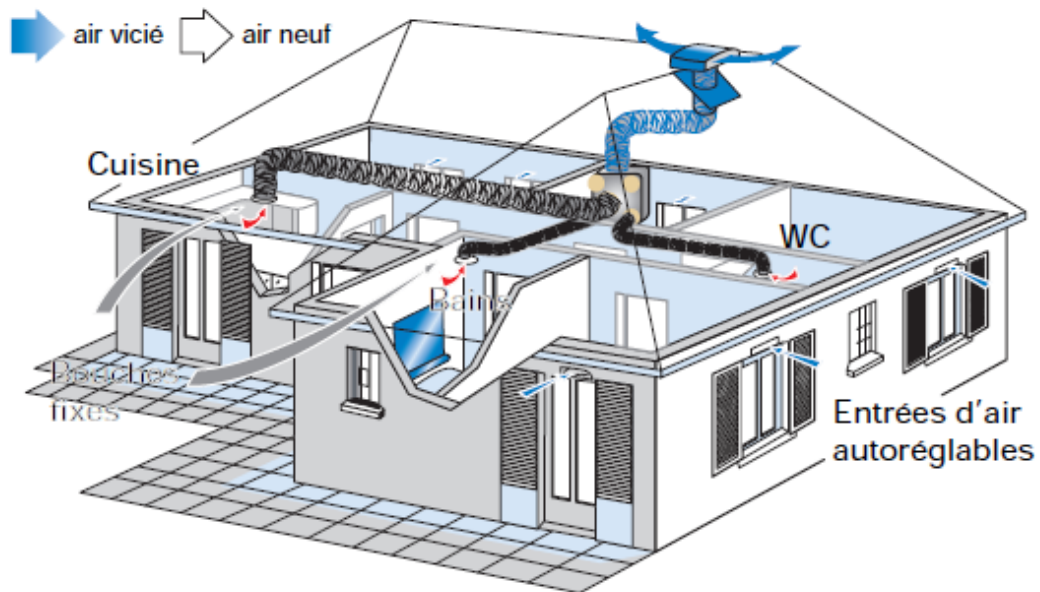
### III.4 Comparaison avec la ventilation mécanique :

#### III.4.1 Les différentes techniques :

##### III.4.1.a/ VMC simple flux :

L'air neuf s'engouffre dans les pièces principales grâce à des entrées d'air situées dans les pièces à vivre. L'air neuf circule alors dans les pièces principales ce qui permet de les ventiler puis il transite vers les pièces où l'air est le plus pollué (cuisine, salle de bain, WC). L'air se pollue et ainsi l'air vicié est évacué à l'extérieur par des bouches d'extraction situées dans ces mêmes pièces de service (cuisine, salle de bain, WC...). C'est ce qu'on appelle le groupe d'extraction qui composé d'un ventilateur qui permet

d'extraire l'air. Il est généralement situé dans les combles ou en terrasses. L'air vicié est alors renvoyé vers l'extérieur.



*La ventilation mécanique contrôlée*

**Figure III.8 : VMC simple flux**

### III.4.1.b/Simple flux auto réglable :

Les VMC simple flux auto réglables fonctionnent en continu avec un débit quel que soit :

- ✓ Les conditions extérieures (vent, pluie,...)
- ✓ Les activités intérieures (nombre d'occupant, degré d'humidité, confection d'un repas, douche ...). Le débit constant peut varier selon les activités et selon la volonté de l'occupant. Un effet, un commutateur manuel permet de basculer de la position 1 « vitesse modérée » 2 « vitesse plus rapide ».

Les entrées d'air sont alors auto-réglables et permettant ainsi d'atténuer l'effet du vent pour maintenir constant les débits entrants.

**III.4.1.c/ simple flux hygro réglable :**

Dans un système de VMC simple flux hygro réglable, ce sont les bouches d'extraction d'air situés dans les pièces de services qui sont dotés de capteur d'humidité. En fonction du taux d'humidité présent dans les pièces, le débit de l'air entrant et sortant est régulé.

Un tel système permet d'avoir une qualité d'air meilleure puisque l'humidité est rapidement évacuée. Et, au lieu de fonctionner en permanence, la ventilation est adaptée aux besoins, ce qui permet des économies d'énergies à l'usage.

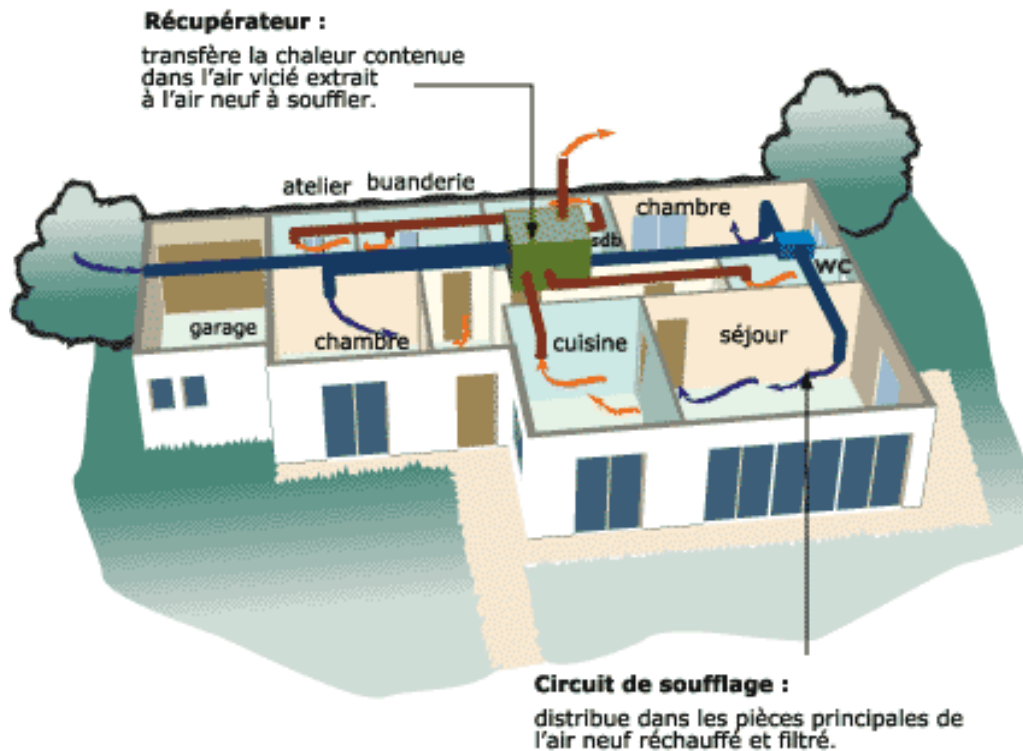
**III.4.1.d/ VMC Gaz :**

Comme la ventilation simple flux, la VMC gaz permet d'extraire l'air vicié. Mais en même temps, elle évacue également les produits de combustion d'une chaudière gaz. Néanmoins, par rapport à un simple flux, la mise en œuvre d'une VMC-gaz nécessite des bouches d'extraction qui puissent assurer l'augmentation de débit à extraire lorsque la chaudière fonctionne. On trouve la VMC gaz quasiment uniquement dans le logement collectif où l'extraction passe par la chaudière gaz.

**III.4.1.e/VMC Double Flux :**

Le but premier d'une VMC double flux est de limiter les pertes de chaleur non souhaitées dues à la ventilation.





**Figure III.9 : VMC double flux**

L'air vicié est aspiré dans les pièces d'activités et est évacué vers le récupérateur. Le système récupère la chaleur de l'air vicié extrait de la maison et l'utilise pour réchauffer l'air neuf auparavant filtré venant de la seule entrée d'air extérieur. L'air neuf est alors préchauffé et n'est plus à la température extérieure. Il est ensuite expulsé vers les pièces principales par le biais de bouches d'insufflation : les pièces sont ainsi ventilées. L'air vicié est là aussi évacué vers l'extérieur. Ce système, plus coûteux qu'une VMC simple flux a de nombreux atouts:

- ✓ L'air neuf étant préchauffé, les coûts de chauffages sont fortement réduits ;
- ✓ L'air entrant est filtré ;
- ✓ Il n'y a plus de sensations de courant d'air froid que l'on peut avoir un simple flux ;

- ✓ N'ayant pas la nécessité d'avoir des entrées d'air dans les pièces principales, on observe une meilleure isolation acoustique des bruits extérieurs.

#### **III.4.1.f/la VMC double dites « thermodynamique » :**

La différence entre un double flux classique et un double flux dites « thermodynamique » se situe au niveau du réchauffement de l'air neuf par l'air vicié. Ainsi, le système permettant de réchauffer l'air est complété par une pompe à chaleur qui optimise le transfert de chaleur entre l'air vicié et l'air neuf. Avantage encore plus attirant, le fonctionnement de la pompe à chaleur peut être inversé en été : l'air neuf, au lieu d'être réchauffé est refroidi permettant le rafraîchissement des pièces et de la maison en général.

### **III.4.2 Avantages de la ventilation :**

#### **III.4.2.1 Les avantages ventilation naturelle :**

- ✓ Qu'il s'agisse de la ventilation naturelle ou de la ventilation mécanique, chaque procédé présente des avantages et des inconvénients.
- ✓ Dans un premier temps, la ventilation naturelle a comme net avantage d'être un moyen passif d'aération des bâtiments. Elle est le plus souvent bien acceptée par les occupants car elle est facilement compréhensible et n'est pas compliquée à utiliser.
- ✓ De plus, l'investissement nécessaire est quasiment nul. Comme la ventilation naturelle ne nécessite pas normalement d'énergie électrique, elle permet donc une économie d'énergie, une économie financière et est donc beaucoup plus écologique. Elle permet ainsi des débits importants, notamment pour le refroidissement passif sans coût excessif puisque les systèmes mis en place ne tombent pas en panne et ne génèrent que très

peu d'entretien. La durée de vie de ce principe est donc beaucoup plus longue.

- ✓ L'habitation peut également être dispensée de climatisation, ce qui réduit encore une fois les frais. Même dans le cas d'une ventilation naturelle à l'aide de puits canadiens, le coût est réduit, dépendant essentiellement du coût de terrassement il est donc particulièrement intéressant car seul le système de ventilation consomme de l'électricité et ce principe ne demande que très peu d'entretien.
- ✓ Il existe également de nombreuses autres qualités pour la ventilation naturelle au niveau ergonomique. Ce principe permet en effet d'avoir une arrivée supplémentaire de lumière naturelle grâce aux ouvertures créées. On parle ici d'éclairage zénithal. Ces ouvertures permettent donc une plus grande clarté de l'espace. Cette sensation est également amplifiée par les plafonds des habitations beaucoup plus hauts.
- ✓ Pour finir, la ventilation naturelle est un procédé qui contrairement à la ventilation mécanique possède un fonctionnement silencieux. Elle élimine tous les bruits causés par les ventilateurs. Cependant, tous ces avantages et notamment l'économie d'énergie importante ne compensent pas toujours la dépendance de la ventilation naturelle au climat.

#### **III.4.2.2 Les avantages de la ventilation mécanique :**

Malgré leur forte propagation et leur utilité prouvée, ces systèmes de ventilation mécanique sont parfois mal acceptés notamment à cause du fait que les occupants ne sentent pas avoir le contrôle sur leur environnement. Pour certains, ces systèmes peuvent montrer de nombreux points négatifs : ce sont des systèmes qui peuvent :

- ✓ Être très volumineux.
- ✓ Couteux dans leur installation et utilisation

- ✓ Tomber en panne
- ✓ Etre bruyants

Ils sont également responsables de consommation d'énergie électrique et enfin, l'air qu'ils fournissent est d'une qualité parfois qui laisse à désirer du fait d'une mauvaise installation et/ou utilisation.

Une étude portant sur la qualité de l'environnement dans différents immeubles européens a ainsi pu montrer et prouvé que ce sont les systèmes de traitement de l'air qui sont à l'origine d'une grande partie de la pollution à l'intérieur des bâtiments.

### **III.5 Cheminées solaires (ou thermique)**

#### **III.5.1 Introduction :**

Une cheminée solaire - appelé également cheminée provençale ou cheminée thermique - est un dispositif permettant d'améliorer la ventilation naturelle d'un bâtiment en utilisant le mouvement convectif de l'air chauffé passivement dans un conduit exposé au rayonnement solaire.

La cheminée solaire est utilisée depuis des siècles, particulièrement dans le Moyen-Orient et le Proche-Orient par les Perses, mais également en Europe durant l'Antiquité par les Romains.

#### **III.5.2 Description :**

Dans sa plus simple forme, la cheminée solaire est constituée d'une cheminée peinte en noir. Pendant le jour, l'énergie solaire réchauffe le conduit de cheminée et l'air contenu à l'intérieur, y créant un appel d'air. L'aspiration ainsi créée à sa base peut être utilisée pour ventiler et refroidir le bâtiment en dessous.

Dans la plupart des cas, il est plus simple d'employer l'énergie éolienne comme dans le cas des tours du vent fonctionnant par effet Venturi, toutefois lors d'une période caniculaire sans vent, seule la cheminée solaire permet d'offrir une ventilation de manière passive. Les

cheminées solaires se déclinent en plusieurs genres. Les éléments de base d'une cheminée solaires sont :

- ✓ La surface de capteur solaire. Elle peut être située dans la partie supérieure du conduit de cheminée ou peut être le tube tout entier. L'orientation, le type de vitrage, l'isolation et les propriétés thermiques du tube sont cruciaux pour exploiter, retenir et utiliser les gains solaires.
- ✓ Le puits de ventilation principal : le lieu, la hauteur, les sections et les propriétés thermiques de cette structure sont également très importants.
- ✓ Les entrées et sorties d'air : leurs dimensions, leur emplacement, aussi bien que leur aspect aérodynamique sont aussi cruciaux. Ce principe a été proposé pour la conception de centrale solaire utilisant une grande serre à la base plutôt que de compter uniquement sur le chauffage du conduit de cheminée.
- ✓ Les tubes de cheminée sont peints en noir de façon à absorber la chaleur provenant du soleil plus facilement et plus efficacement. Quand l'air à l'intérieur de la cheminée est chauffé, il s'élève et aspire l'air frais en dessous provenant par exemple d'un puits provençal.

### **III.5.3 principe :**

Un fluide a tendance à s'élever lorsqu'il s'échauffe, en raison de la diminution de sa densité. Ce phénomène thermique naturel est utilisé pour évacuer la surchauffe de l'intérieur d'une construction en facilitant la sortie de l'air tiède ou chaud à travers des ouvrants en partie haute. Le tirage thermique induit une dépression intérieure provoquant l'aspiration de l'air plus frais du dehors à travers des ouvrants en partie basse. Un tirage naturel de l'air est assuré par une cheminée haute utilisée en exutoire. L'air chaud s'élève naturellement et s'échappe par la cheminée pendant que l'air extérieur entre dans le bâtiment par les ouvertures dédiées.

La cheminée solaire est un élément de conception architecturale permettant de favoriser la ventilation naturelle d'un bâtiment. Le soleil

chauffe la cheminée, qui augmente localement la température de l'air sortant et par corolaire augmente le flux.



**Figure III.10: Cheminées solaire de l'immeuble Michelin à Bordeaux**

### **III.5.4 Fonctionnement :**

Le fonctionnement de la cheminée de ventilation naturelle assisté par un système solaire est le suivant :

1. L'air frais entrant dans les salles de classe à travers des murs est préchauffé derrière les radiateurs. L'air des salles de classe est extrait vers les axes principaux d'extraction.

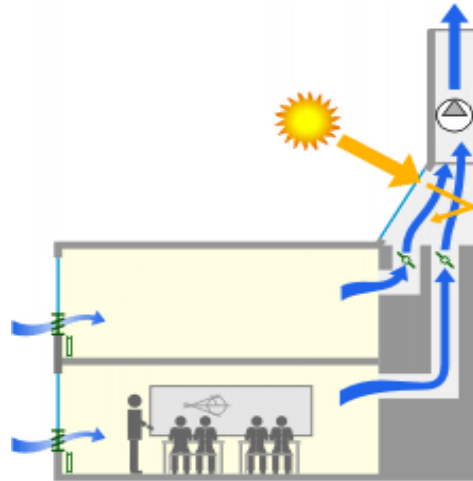
2. L'air monte dans les axes d'extraction grâce à l'effet de cheminée

3. L'air entre dans la cheminée solaire

4. L'air est chauffé dans des collecteurs solaires d'air qui augmentent l'effet de cheminée

5. L'air est évacué par le haut des cheminées solaires.

Les images montrent l'intérieur d'une des cheminées solaires. À l'intérieur du vitrage il y a également des plats absorbants réalisés en tôles d'acier ondulées.



**Figure III.11 : Fonctionnement du système**



**Figure III.12: Cheminée solaire extérieure**

### III.6 Dispositifs Architecturaux pour améliorer la Ventilation :

#### III.6.Tours à vent :

Les tours à vent sont destinées à "capter" le vent et augmenter sa pression. Selon les modèles, l'air peut être insufflé et extrait par deux conduits situés dans la même tour. L'air, issue d'une tour à vent, est plus frais, moins poussiéreux, mais moins humide, car il est capté au niveau des toitures.

Dans de nombreuses réalisations, les tours à vents, permettent aux vents secs de s'hydrater au contact de l'eau contenue dans des récipients, avant de ventiler et de rafraîchir le local (Figure III.12). L'hydratation du

courant d'air sec permet d'abaisser sa température grâce à l'évaporation de l'eau. L'énergie très importante d'évaporation, (évaporer 1Kg d'eau demande 500 à 600 kcal) étant prélevée dans l'air entrant, il se produit inévitablement une diminution de la température du local. L'air neuf introduit, chasse l'air intérieur plus chaud et plus vicié. Il est ensuite conduit, par l'intermédiaire de gaines intérieures ou intégrées au mur mitoyen, dans les locaux à ventiler.

Les tours à vent modernes sont généralement pourvues d'écopés auto-orientables dans les vents dominants, pour créer un effet venturi. Lorsque le vent dominant est centré sur un secteur étroit, l'écope est constituée d'une large section verticale qui va en se rétrécissant légèrement jusqu'à celle du conduit intérieur.

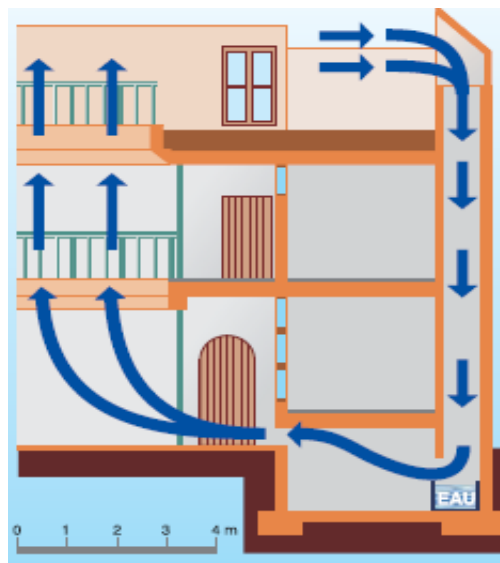
Dans les climats à forte amplitude thermique, utiliser des matériaux à forte inertie pour la construction du conduit, permet de rafraîchir l'air efficacement. Les tours à vents sont rarement exploitées en climat humide, car le taux hygrométrique de l'air est souvent déjà supérieur à celui requis pour le niveau de confort. En revanche, avec le climat sec du pourtour Méditerranéen, elles permettent une ventilation rafraîchie des espaces intérieurs, et un taux de poussière encore diminué.

En ce qui concerne la capture de l'air en hauteur, les considérations à prendre en compte sont les mêmes que pour les écopés fixes. Les pertes dans les conduits aérauliques doivent être réduites au maximum. Il convient de privilégier les sections larges et homogènes pour les conduits et les entrées et sorties d'air ainsi que des conduits majoritairement rectilignes. Il existe à l'heure actuelle de nombreux exemples de tours à vents sous nos latitudes tempérées, notamment en Angleterre.





**Figure III.13 : Tours à vent. Bibliothèque Lancaster, Université de Coventry – Angleterre**



**Figure III.14 : Principe d'une tour à vent**

### III.6.2 Double peau:

Ces réalisations sont assimilables à des espaces tampons permettant de pré-conditionner l'air de ventilation. Une façade double-peau est généralement constituée d'un écran vitré, d'un espace formant la cavité et de la façade. La hauteur de la double peau est au minimum d'un étage, mais

plus généralement de 3 étages ou davantage. Des ouvertures réglables sont disposées en haut et/ou en bas de la cavité.

Le fonctionnement repose sur le principe de l'effet de cheminée thermique. Une colonne d'air chaud (faible densité) est entourée d'air plus froid (plus forte densité) ce qui provoque une poussée d'Archimède mettant l'air en mouvement. Les réalisations double peau sont caractérisés par :

1. une température et humidité de l'air agréable,
2. la suppression de l'effet de paroi froide en hiver,
3. une protection contre les surchauffes d'été, les reflets, les buées et les courants d'air, La cavité ventilée situé entre les deux peaux, est

d'une largeur pouvant aller de quelques centimètres à plusieurs mètres lorsqu'ils sont circulables et plusieurs mètres lorsque c'est un atrium.

La ventilation de la cavité est parfois contrôlable par des ventilateurs et/ou des ouvrants. Il existe d'autres concepts de façades où cette ventilation est non contrôlable. Le double peau, intérieure ou extérieure n'est pas obligatoirement étanche à l'air (façades "à lamelles").

Des équipements d'automatisation renforcent l'efficacité de ce type de ventilation : protections solaires intégrées, ouvrants motorisés ou ventilateurs.

La gestion du mouvement de l'air dans la cavité est fonction de la zone d'admission de l'air et de la qualité de circulation. La conception d'une façade peut adopter plusieurs modes de ventilation



**Figure III.15: Double peau cavité circulaire.**

### **III.6.3 Le puits canadien:**

Ce système permet le préchauffage ou au contraire le rafraichissement de l'air neuf d'un système de ventilation par l'intermédiaire d'un conduit d'amenée d'air enfoui dans le sol.

En hiver, le sol, à la profondeur de 2m, est plus chaud que la température extérieure : l'air froid est donc préchauffé lors de son passage dans les conduits. L'air n'est prélevé directement de l'extérieur, il y aura donc une économie d'énergie de chauffage.

En été, le sol est plus froid que la température extérieure : l'air entrant dans le bâtiment, sera tempéré naturellement par la température fraîche du sol.

Le puits canadien permet une économie de l'ordre de 20 à 25 % de la consommation liée au chauffage de l'air neuf et 5 à 10 % de la consommation totale de chauffage. Il permet, avec l'aide d'autres accessoires, de rafraîchir naturellement l'air entrant et dans de nombreux cas de se passer de climatisation en été.

Pour permettre l'échange thermique optimisé, le puits canadien doit respecter un flux d'air faible vitesse. Cette caractéristique le rend compatible avec les systèmes de ventilation naturelle ou Hybride.



**Figure III.16: Cheminées d'entrées d'air d'un puits Canadien**

#### **III.6.4 Les fenêtres :**

Petites fenêtres hautes commandées par gestion centrale informatisée (avec possibilité de dérogation) : elles assurent l'entrée de l'air soit dans les dalles soit directement dans les locaux, et son évacuation soit directement vers l'extérieur (ventilation transversale), soit dans les cheminées de ventilation.

Grandes fenêtres basses, commandées principalement manuellement (réglage automatique dans certains cas) pour permettre un complément de ventilation.

**III.7 Conclusion :**

Le concept de la ventilation naturelle ne peut s'appréhender de façon simpliste comme les modèles mathématiques le laissent parfois entendre (La réalité de l'installation peut s'avérer assez éloignées des promesses du calcul).

La dynamique des flux d'air sur des obstacles est complexe à assimiler et nécessite des simulations coûteuses de cas réels (soufflerie) et une certaine dose d'empirisme. Beaucoup de phénomènes ne sont pas pris en compte ou négligés : La trajectoire d'un jet d'air parallèle au plafond, a tendance à s'y rapprocher. Ce phénomène, l'effet COANDA, est dû au tourbillon et à la dépression locale créé à la sortie de la bouche. Il apparaît pour des distances entre la bouche et le plafond de l'ordre de 30 à 50 fois l'épaisseur du jet, c'est-à-dire dans la plupart des cas. Le même phénomène se produit lorsque l'on pulse de l'air sous le plafond avec un angle inférieur à 45° ou lorsque 2 jets sont proches.

L'assurance que donne une parfaite maîtrise d'une technologie doit être pondérée par la prise en compte d'un savoir vernaculaire qu'il s'agit de rendre compatible avec les usages modernes de l'habitat. Le même type de paradigme se retrouve au niveau des pilotes modernes, formés sur simulateurs sophistiqués, mais ne sachant plus faire voler les avions lorsque leur ordinateur de bord est désactivé.

Seule, l'expérience de professionnels passionnés, l'audace des donneurs d'ordres et la volonté d'innovation des architectes, parviendront à constituer un savoir-faire, qui pourra être mis à profit pour de nouveaux projets. Les modèles informatiques, soutenus par la législation, ne constituent qu'un outil supplémentaire dans la panoplie des architectes, mais plus le seul.

La ventilation naturelle passive ou assistée est un nouveau potentiel en faveur de l'architecte. Elle donne aux concepts strictement architecturaux,

une suprématie sur la machine et la technologie et permet à l'architecte de reprendre sa place d'acteur principal dans la conception d'un projet.

En contre partie, l'architecte doit introduire la problématique de la ventilation dès le début de la conception d'un projet .Il doit la considérer avec le même rang de priorité que la problématique thermique à laquelle il doit l'adosser.

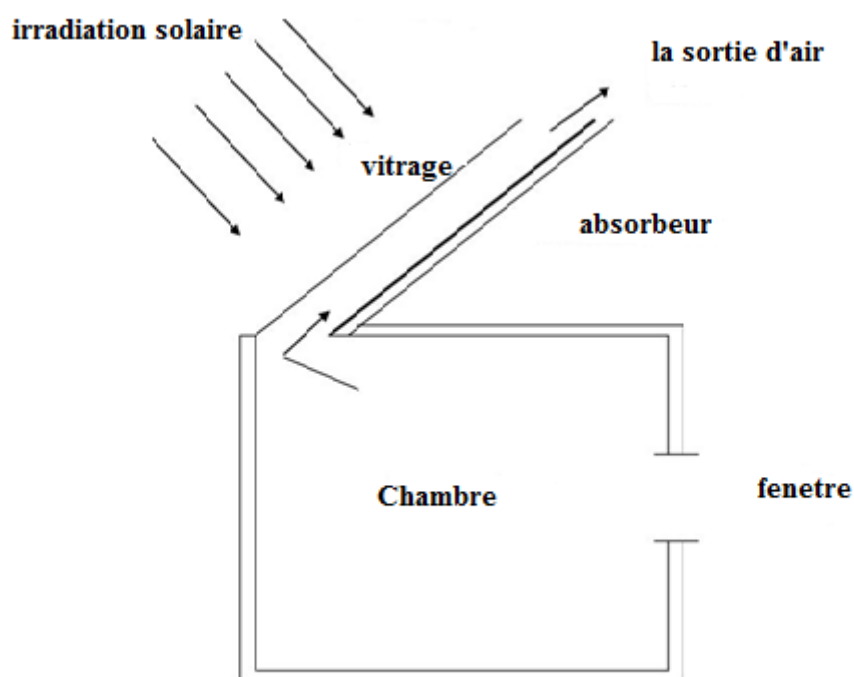
## CHAPITRE IV :

# POSITION DU PROBLÈME

### IV.1 Introduction :

Pour comprendre le principe de fonctionnement de la cheminée solaire, il faut bien passer par la modélisation mathématique pour repérer les paramètres qui influent sur son performance. Alors, on est obligé de tirer les bilans énergétiques au niveau de chaque composant de la cheminée (vitrage, absorbeur, l'air dans la cheminée).

### IV.2 Principe de fonctionnement de la cheminée solaire :



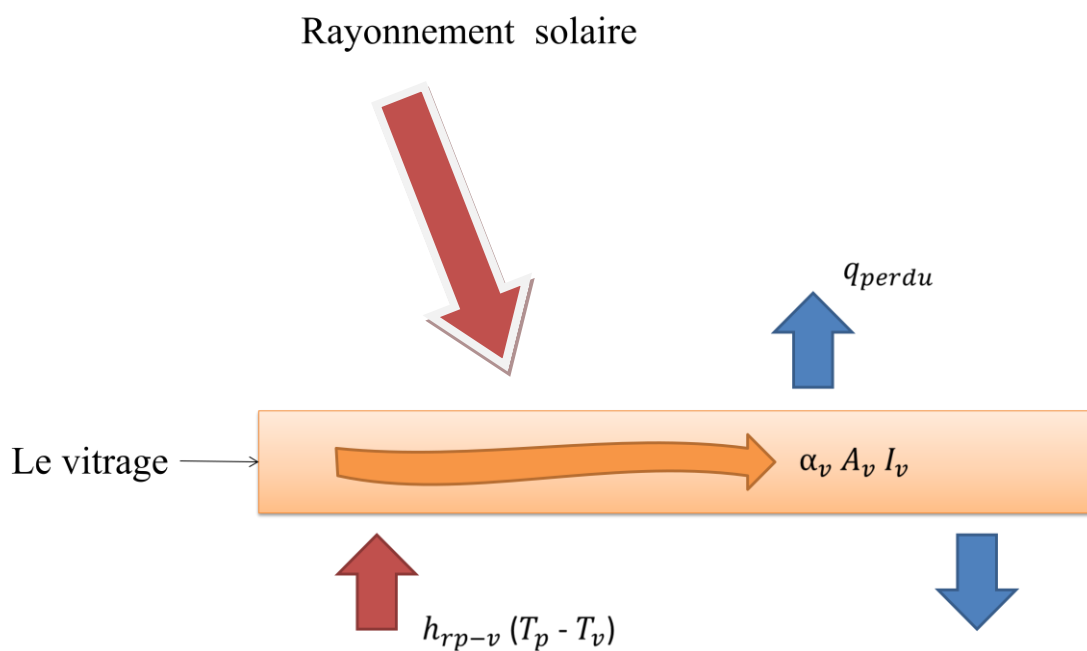
**Figure IV.1 : La cheminée solaire inclinée**

Le fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève par convection. L'air à l'intérieur de la cheminée se chauffe grâce au rayonnement solaire. Le capteur est composé de deux ouvertures de manière à permettre l'évacuation d'air chaud qui s'élève de la chambre pour créer un renouvellement d'air dans la chambre.



### IV.2.1 Bilan énergétique au niveau de vitrage :

La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que l'absorbeur, le vitrage absorbe la chaleur qui vient de la part du rayonnement de soleil et de l'absorbeur, et il a perdre cette quantité par convection avec l'air dans la cheminée et avec l'air ambiant par rayonnement avec le ciel.



**Figure IV.2: Bilan thermique au niveau de vitrage**

La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre au niveau du vitrage.

$$\alpha_v A_v I + h_{rp-v}(T_p - T_v) = h_{con v-a} A_v (T_v - T_f) + \sum q_{pertes} \quad \text{IV.1}$$

Avec:

$$\sum q_{pertes} = U_t A_v (T_v - T_a) \quad \text{IV.2}$$

$$U_t = h_{ent} + h_{rv,ciel} \quad \text{IV.3}$$

L'équation (IV.1) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$[h_{rp\_v}A_p + h_{cv\_a}A_v + (h_{vent} + h_{rv\_ciel})A_v]T_v - h_{conv\ v-a}A_vT_f - h_{rp\_v}A_pT_p = \alpha_v A_v I + (h_{vent} + h_{rv\_ciel})A_v T_a \quad IV.4$$

On note :

$$a_1 = h_{rp\_v} \cdot A_p + h_{cv\_a} A_v + (h_{vent} + h_{rv\_ciel}) A_v \quad IV.5$$

$$b_1 = - h_{cv\_a} A_v \quad IV.6$$

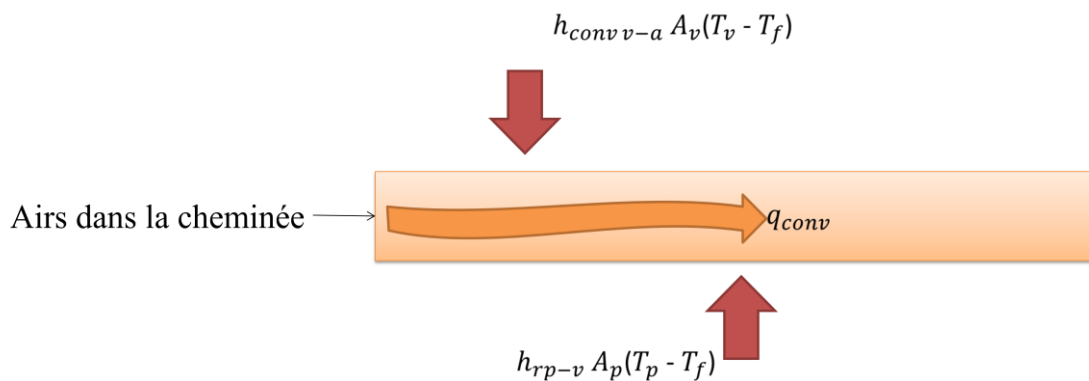
$$c_1 = - h_{rp\_v} \cdot A_p \quad IV.7$$

$$r_1 = \alpha_v A_v I + (h_{vent} + h_{rv\_ciel}) A_v T_a \quad IV.8$$

L'équation (IV.1) devient :

$$a_1 T_v + b_1 T_f + c_1 T_p = r_1 \quad IV.9$$

### IV.2.2 Bilan énergétique au niveau de cheminée :



**Figure IV.3 : Bilan énergétique de fluide au niveau de la cheminée.**

L'air dans la cheminée reçoit des flux convectifs de la part de l'absorbeur et du vitrage. Donc, il se produit un flux convectif au niveau d'air qu'on peut le déterminer par le bilan suivant :

$$h_{conv\ v-a} \cdot A_v \cdot (T_v - T_f) + h_{conv\ p-a} \cdot A_p (T_p - T_f) = q_{conv} \quad IV.10$$

Avec:

$$q_{conv} = \dot{m} C_p (T_{f0} - T_{fi}) \quad IV.11$$

$$T_f = T_{f0} + (1 - \omega) T_{fi} \quad IV.12$$

On prend :

$$T_{fi} = T_c \quad \text{IV.13}$$

(IV.11)Devient :

$$T_f = \omega T_{f0} - \omega T_{fi} + T_{fi} \Rightarrow T_{f0} - T_{fi} = \frac{T_f - T_{fi}}{\omega} \quad \text{IV.14}$$

Alors:

$$q_{conv} = \dot{m}C_p \frac{T_f - T_c}{\omega} \quad \text{IV.15}$$

L'équation (IV.10) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$(h_{conv\ v\_a}A_p)T_v + \left[ - \left( h_{conv\ v\_a}A_v + h_{conv\ p\_a}A_p + \frac{\dot{m}C_p}{\omega} \right) \right] T_f + (h_{conv\ p\_a}A_p)T_p = -\dot{m}C_p T_c / \omega \quad \text{IV.16}$$

On note:

$$a_2 = h_{conv\ v\_a}A_v \quad \text{IV.17}$$

$$b_2 = -h_{conv\ v\_a}A_v + h_{conv\ p\_a}A_p + \frac{\dot{m}C_p}{\omega} \quad \text{IV.18}$$

$$c_2 = h_{conv\ p\_a}A_p \quad \text{IV.19}$$

$$r_2 = -\frac{\dot{m}C_p T_c}{\omega} \quad \text{IV.20}$$

L'équation (IV.10) devient :

$$a_2 T_v + b_2 T_f + c_2 T_p = r_2 \quad \text{IV.21}$$

### IV.2.3 Bilan énergétique au niveau de l'absorbeur :

Deux fonctions incombent à l'absorbeur :

- ✓ Absorber la plus grande partie au rayonnement solaire possible.
- ✓ Transmettre la chaleur produite vers le fluide avec un minimum de perte.

Donc, au niveau de vitrage deux flux radiatifs principaux sont présents

- Le flux absorbé par l'absorbeur.
- Le flux transmis vers le fluide (air dans la cheminée)

L'absorbeur absorbe la totalité du rayonnement qui traverse le vitrage, par contre il va la perdre par rayonnement avec le vitrage, et par convection avec l'air circulé dans la cheminée.

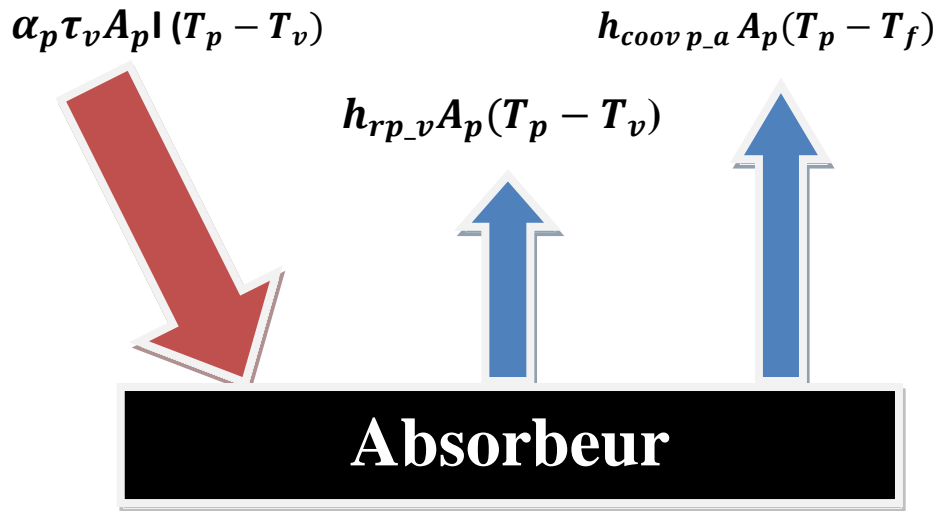


Figure IV.4 : Différents flux au niveau de l'absorbeur

$$\alpha_p \tau_p A_p I = h_{rp_v} A_p (T_p - T_v) + h_{conv p_a} A_p (T_p - T_f) \quad \text{IV.22}$$

$$(-h_{rp_v} A_p) T_v + (-h_{conv p_a} A_p) T_f + [(h_{rp_v} + h_{conv p_a}) A_p] T_p = \alpha_p \tau_p A_p \quad \text{IV.23}$$

On note :

$$a_3 = -h_{rp_v} A_p \quad \text{IV.24}$$

$$b_3 = -h_{conv p_a} A_p \quad \text{IV.25}$$

$$c_3 = (h_{rp_v} + h_{conv p_a}) A_p \quad \text{IV.26}$$

$$r_3 = \alpha_p \tau_p A_p I \quad \text{IV.27}$$

L'équation (IV.22) devient :

$$a_3 T_v + b_3 T_f + c_3 T_p = r_3 \quad \text{IV.28}$$

Selon les bilans (IV.1) (IV.10) et (IV.22) on peut former la matrice suivante :

$$\begin{bmatrix} a1 & b1 & c1 \\ a2 & b2 & c2 \\ a3 & b3 & c3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_v \\ T_f \\ T_p \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} r1 \\ r2 \\ r3 \end{Bmatrix}$$

**IV.3 Corrélation théorique pour calculer les coefficients de transfert thermique :**

**Remarque :** tous les équations sont prises de la référence [5].

Le coefficient de transfert radiatif entre deux plaques parallèles peut se calculer à l'aide de l'équation suivante :

$$h_{rp\_v} = \frac{\sigma(T_p+T_v)(T_p^2+T_v^2)}{\frac{1-\epsilon_v}{\epsilon_v} + \frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p} + \frac{1}{F_{p\_v}}} \quad \text{IV.29}$$

L'équation (IV.30) et (IV.31) donne le coefficient de transfert par rayonnement entre l'air ambiant et une plaque :

$$h_{cv\_a} = \frac{Nu\lambda_f}{L_v}(T_v) \quad \text{IV.30}$$

$$h_{cp\_a} = \frac{Nu\lambda_f}{L_p}(T_p) \quad \text{IV.31}$$

L'équation (IV.32) donne le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre le vitrage et le ciel :

$$h_{rv\_ciel} = \frac{\sigma\epsilon_v(T_v+T_{ciel})(T_v^2+T_{ciel}^2)(T_v-T_{ciel})}{(T_v-T_a)} \quad \text{IV.32}$$

L'équation (IV.33) donne le coefficient de transfert thermique du au vent :

$$h_{vent} = 2,8 + 3V_{vent} \quad \text{IV.33}$$

On peut calculer la température du ciel à l'aide de L'équation (IV.34) :

$$T_{ciel} = 0,0552T_a^{1,5} \quad \text{IV.34}$$

$$\dot{m} = \frac{C_d\rho_f A_0}{\sqrt{1+(\frac{A_0^2}{A_1^2})}} \sqrt{2gL_c \sin\theta \left(\frac{T_f}{T_c} - 1\right)} \quad \text{IV.35}$$

Le nombre de Nusselt peut être obtenu selon la relation suivante au régime laminaire :

$$N_u = 0,6 (G_r P_r \cos \theta)^{\frac{1}{5}} \quad \text{IV.36}$$

Pour  $10^5 < G_r P_r < 10^{11}$

Avec

$$G_r = \frac{g B \Delta T L c^3}{\nu^2} \quad \text{IV.37}$$

$$P_r = \frac{\mu_m c_p}{\lambda_m} \quad \text{IV.38}$$

$$\Delta T = T_{ciel} - T_f \quad \text{IV.39}$$

Le facteur d'expansion :

$$\beta = \frac{1}{T_m} \quad \text{IV.40}$$

Avec :

$$T_m = (T_f + T_s)/2 \quad \text{IV.41}$$

$$T_s = T_v, T_p \quad \text{IV.42}$$

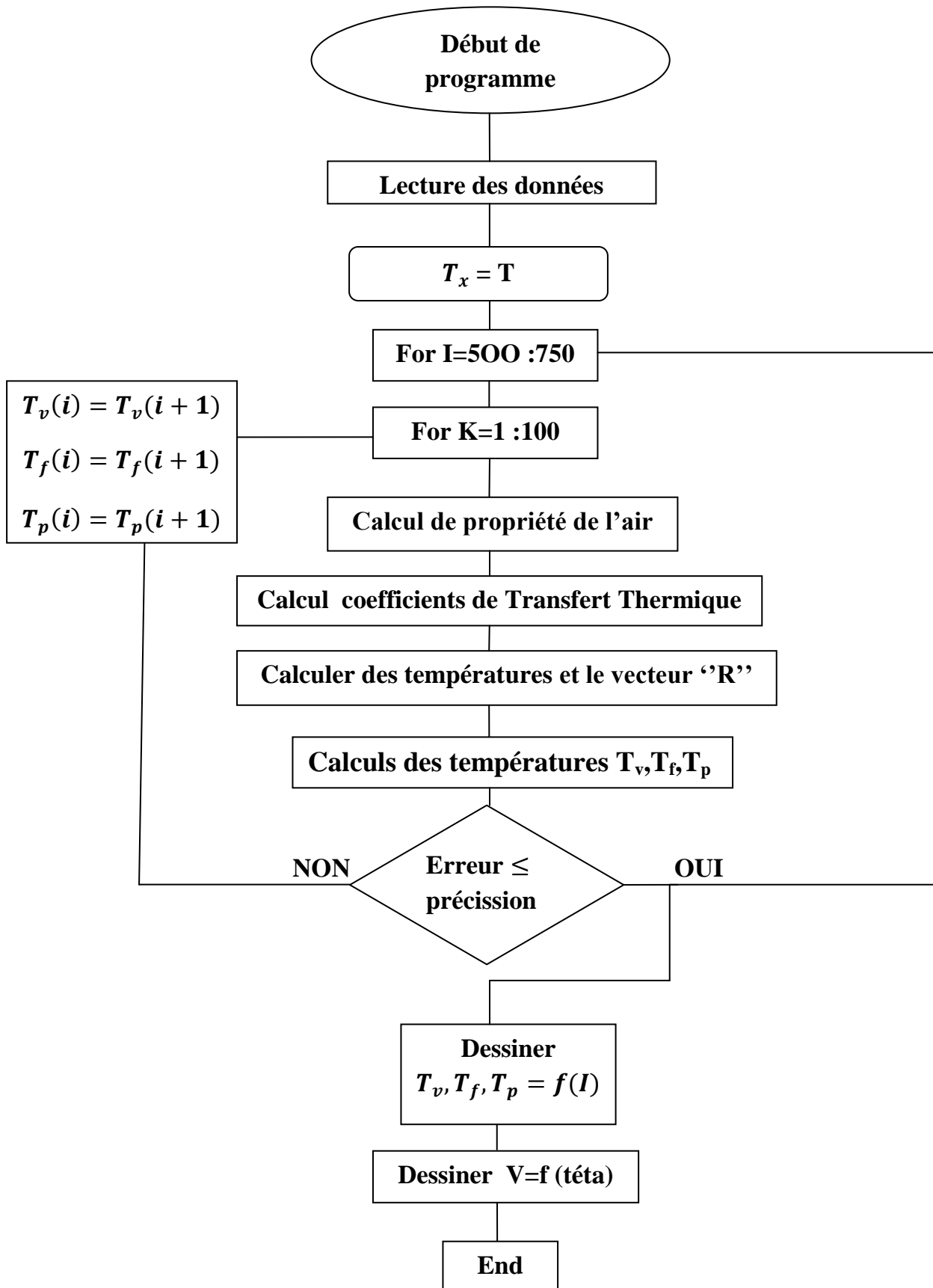
$$\rho = 1,1614 - 0,00353(T_m - 300) \quad \text{IV.43}$$

$$\mu = 1,846 \cdot 10^{-5} + 0,00472 \cdot 10^{-5} (T_m - 300) \quad \text{IV.44}$$

$$C_p = 1007 + 0,004(T_m - 300) \quad \text{IV.45}$$

$$\lambda_m = 0,0263 + 0,000074(T_m - 300) \quad \text{IV.46}$$

## IV.5 Organigramme du programme effectué pour le calcul numérique de la cheminée solaire:



**CHAPITRE V:**

**RÉSULTATS ET  
DISCUSSION**



### V.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les résultats obtenus de la résolution numérique effectuée par le langage MATLAB qui a été élaboré pour résoudre le système d'équations des bilans énergétiques (1), (2) et(3) pour les différents composants de la cheminée solaire afin de trouver les températures  $T_v$  (vitrage),  $T_f$  (fluide) et  $T_p$  (absorbeur).

#### V.1.2 Données du problème

Dans notre problème, la température ambiante et la température de la chambre sont présent comme variable en fonction du rayonnement solaire.

Rayonnement solaire ( $W/m^2$ )	Température ambiante [19]	Température de la chambre
500	299,2	299.2
550	302,6	302.6
600	306	306
650	310,3	310.3
700	312,2	312.2
750	313	313

**Tableau(V.1) : Les valeurs de rayonnement solaire et les températures de la chambre et la température ambiante.**

On a admet que les températures de la chambre et de l'air sont égaux pour atteindre une approche avec les résultats de référence [5].

On donne aussi :

$$V=1 \text{ m/s} \quad ; \quad F_{p_v}=1 \quad ; \quad A_p=A_v=1 \text{ m}^2; \quad w=0,74$$

$$\alpha_p=0,06 \quad ; \quad \alpha_v=0,95 \quad ; \quad \tau_p=0,84 \quad ;$$

$$\begin{aligned}\sigma &= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{k}^4 ; & \varepsilon_p &= 0,95; & \varepsilon_v &= 0,9 \\ C_d &= 0,57 & ; A_0 = A_i &= 0,35 \text{ m}^2 \\ L_c &= 1 \text{ m} ; & g &= 9,81 \text{ m/s}^2; & V_c &= 27 \text{ m}^3\end{aligned}$$

## V.2 Validation du modèle mathématique:

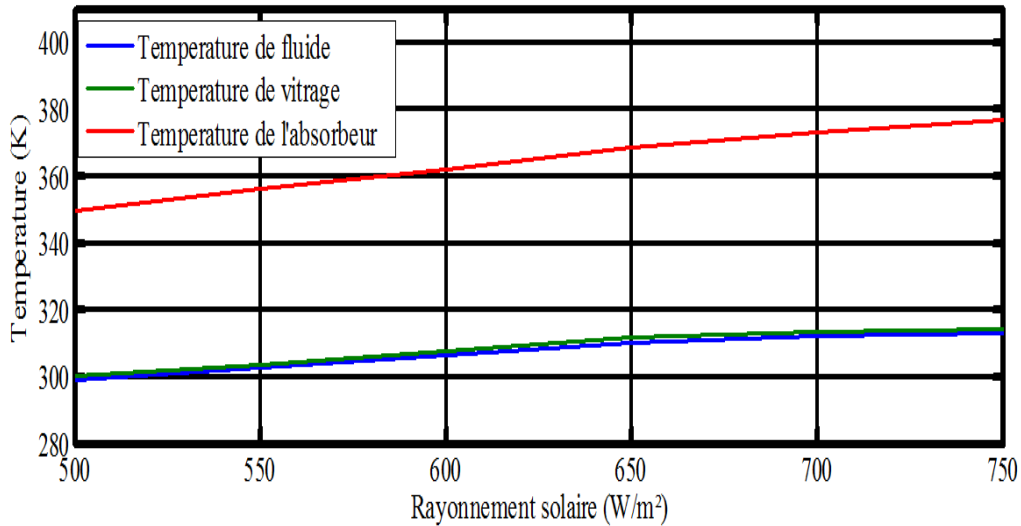
Le tableau(V.2) représente une comparaison des résultats obtenus de la variation de la température de l'absorbeur, du fluide et de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée en fonction de l'intensité de rayonnement solaire avec ceux de la référence [19].

Nous remarquons que les résultats obtenus sont en accord avec ceux de la référence [19] avec un écart dû essentiellement à la différence entre les modèles mathématique et numérique adoptés dans le présent travail et ceux utilisés dans la référence [19] et aux manques de certaines données dans la référence (comme l'évolution de la température de la chambre).

Pour la température de l'absorbeur, on constate qu'il y a une erreur moyenne de 3.5% entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques, et une erreur moyenne de 1% entre les valeurs théoriques et les valeurs de notre étude. Pour la température du fluide, une erreur moyenne de 4.78% est observée entre les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques. Pour la température du fluide l'erreur moyenne est de 15.36%.

### V.3 Discussion des résultats théoriques :

#### V.3.1. Influence du rayonnement solaire :



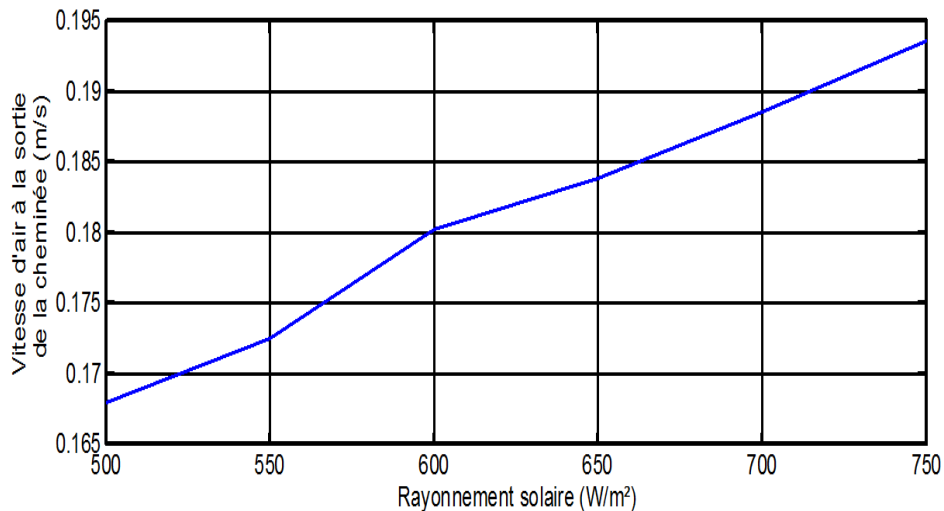
**Figure (V.1) : L'évolution de la température de l'absorbeur, le fluide et de vitrage en fonction de l'intensité de rayonnement solaire.**

La figure (V.1) montre l'évolution de la température de l'absorbeur, fluide et du vitrage en fonction de l'intensité de rayonnement solaire un angle fixe de la cheminée ( $\theta=45^\circ$ ).

L'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire influe considérablement sur la température de l'absorbeur puisque ce dernier absorbe la grande partie du rayonnement solaire. La température de l'absorbeur à augmenter par un taux de 8.02% durant la variation de l'intensité de rayonnement solaire de 500W/m<sup>2</sup> jusqu'à 750W/m<sup>2</sup>.

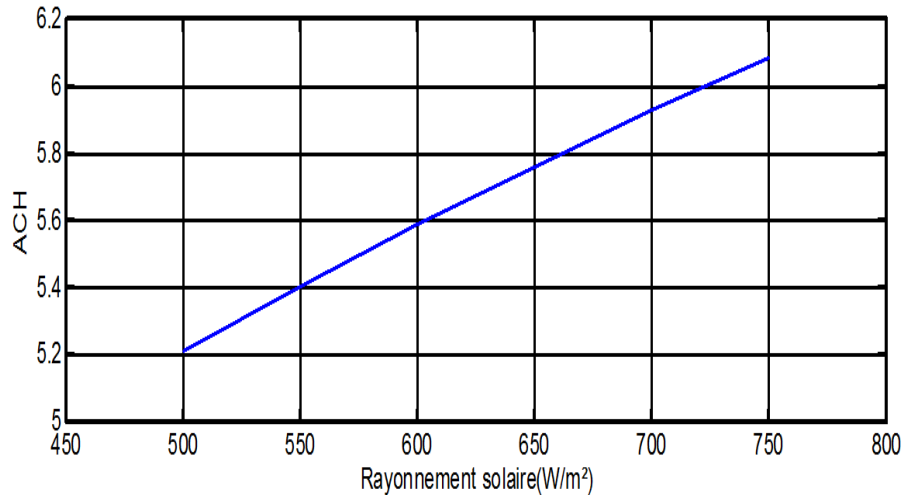
Nous remarquons que le rayonnement solaire influe sur la température du vitrage. La figure montre que la relation est presque linéaire entre les températures et le rayonnement solaire. Les températures atteignent leur valeur maximale quand l'intensité de rayonnement est maximale. L'augmentation de la température de l'absorbeur est plus considérable si on la compare avec celles du fluide et du vitrage.

La température de fluide a augmenté avec un taux de 4.78%. Nous remarquons que le rayonnement solaire n'a pas la même grandeur d'influence sur la température de fluide, puisque la cheminée solaire est munie d'une ouverture pour permettre le renouvellement d'air. La figure montre que la relation est presque linéaire entre les températures et le rayonnement solaire. Les températures atteignent leur valeur maximale quand l'intensité de rayonnement est maximale. L'augmentation de la température de fluide n'est plus considérable si on la compare avec celles de l'absorbeur.



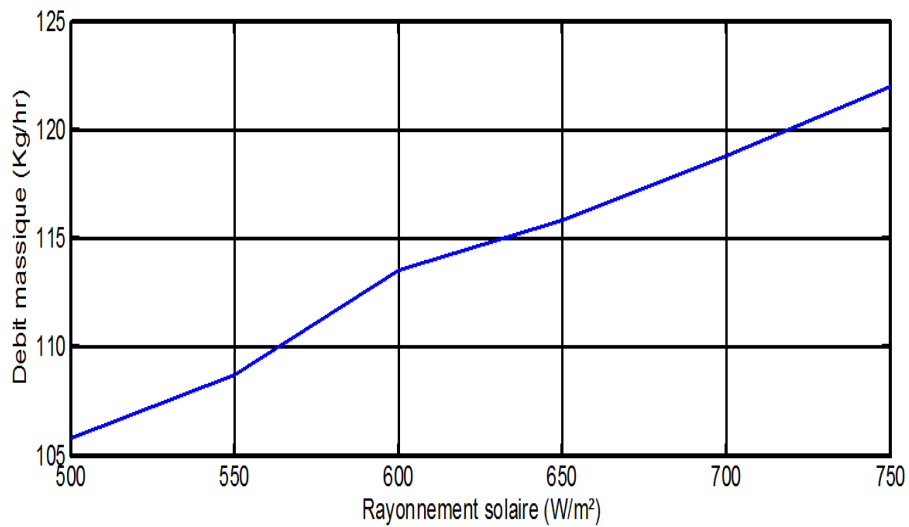
**Figure (V.2) : L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'intensité de rayonnement solaire.**

La figure (V.2) montre l'influence de rayonnement solaire sur la vitesse d'air à la sortie de la cheminée. D'après la figure on constate que la vitesse a augmenté par un taux de 15.36% durant la variation de l'intensité de rayonnement solaire de 500W/m² jusqu'à 750W/m². Cela est dû à l'augmentation de l'écart entre la température du fluide et de l'air dans la chambre qui est considéré comme le moteur du renouvellement d'air.



**Figure (V.3): L'évolution de l'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire.**

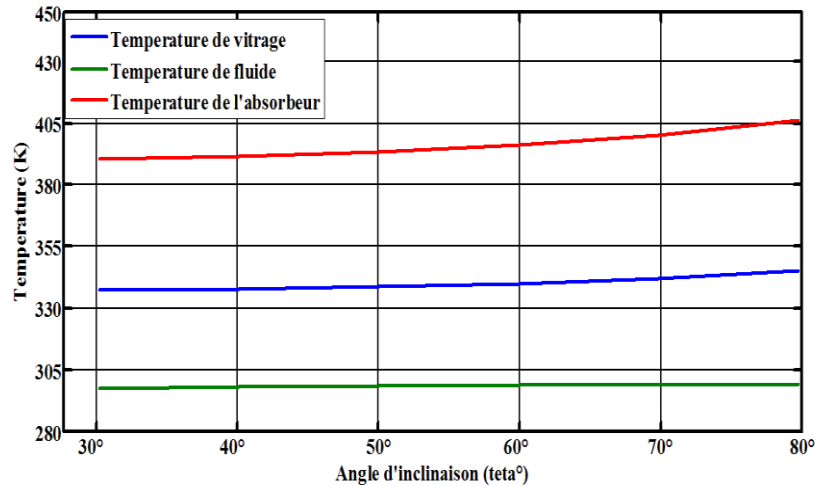
La figure (V.3) représente l'influence du rayonnement solaire sur le taux de renouvellement d'air par heure (ACH). On remarque qu'il y a une relation linéaire entre le taux de renouvellement d'air et de l'intensité du rayonnement solaire. L'ACH a augmenté par un taux de 17.3% lorsque le rayonnement varie de 500W/m<sup>2</sup> jusqu'à 750W/m<sup>2</sup>. On constate que le taux de renouvellement d'air de la cheminée atteint sa valeur maximale pour un rayonnement maximale.



**Figure(V.4) : L'évolution du débit massique d'air lors de la variation de rayonnement solaire.**

La figure(V.4) montre l'influence de l'intensité du rayonnement solaire sur le débit massique d'air. On constate que la relation est presque linéaire entre le débit massique d'air et l'intensité du rayonnement solaire. Le débit a augmenté avec un taux de 15% durant la variation du rayonnement de 500W/m<sup>2</sup> jusqu'à 750W/m<sup>2</sup>.

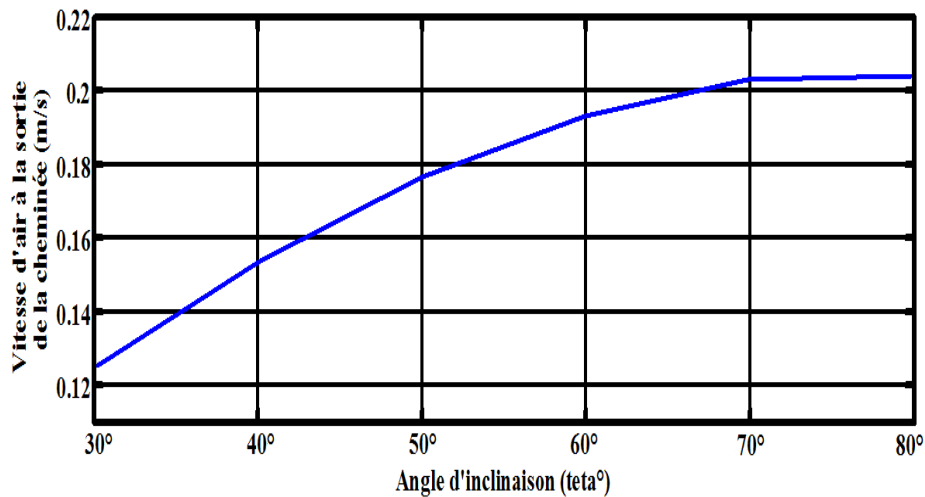
### V.3.2 Influence de l'inclinaison :



**Figure (V.5) : L'évolution des températures en fonction de l'inclinaison de la cheminée.**

La figure(V.5) montre l'influence de l'inclinaison de la cheminée sur le comportement thermique de ses composants (absorbeur, vitrage, air) pour une valeur constante du rayonnement solaire  $I = 750 \text{ W/m}^2$ . On remarque que l'inclinaison de la cheminée influe sur les valeurs obtenus pour la température de l'absorbeur avec un taux d'augmentation de 4.1%, et 2.37% pour la température du vitrage.

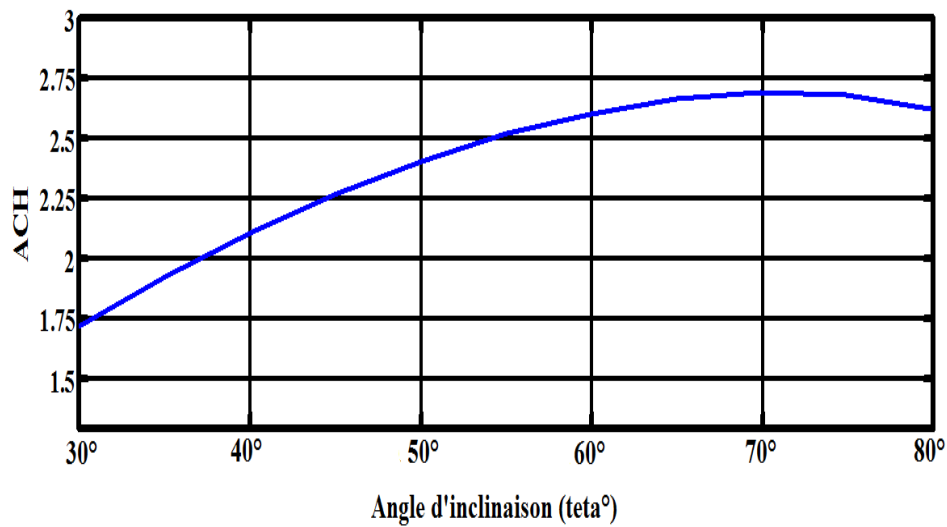
L'influence de l'inclinaison sur la température d'air traversant la cheminée est faible, puisque la cheminée est ouverte de deux cotée pour assurer le renouvellement d'air du local.



**Figure(V.6) : L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée en fonction de l'inclinaison ( $\theta^\circ$ ).**

La figure(V.6) représente l'influence de l'angle d'inclinaison de la cheminée ( $\theta$ ) sur la vitesse de l'air à la sortie pour un rayonnement solaire fixe  $I = 750 \text{ W/m}^2$ . On montre que l'augmentation de l'angle d'inclinaison provoque une augmentation rapide de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée. A  $\theta = 70^\circ$ , on assiste à une diminution dans l'augmentation de la vitesse en fonction de l'inclinaison. D'après ce résultat, on peut dire que l'angle optimal de la cheminée pour assurer un taux maximal de renouvellement d'air est entre  $70^\circ$  et  $80^\circ$ . Cela a été évoqué dans la littérature [5].



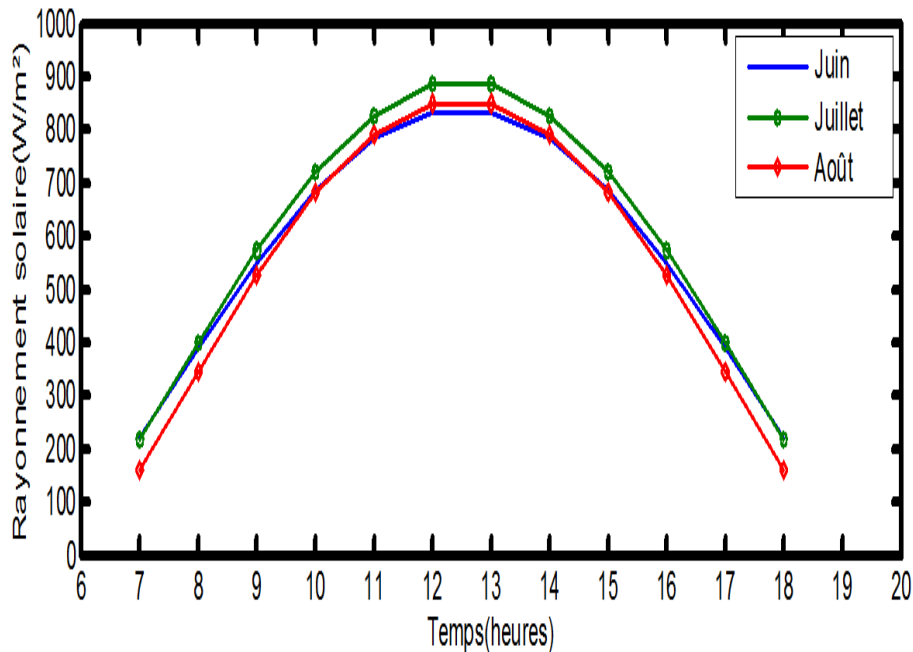


**Figure(V.7) : L'évolution de l'ACH en fonction d'inclinaison de la cheminée solaire.**

La figure(V.7) montre l'influence de l'inclinaison de la cheminée sur le taux de renouvellement d'air dans la chambre pour un rayonnement solaire  $I = 750 \text{ W/m}^2$ . On montre que l'augmentation de l'inclinaison de  $30^\circ$  à  $70^\circ$  provoque l'augmentation de taux de renouvellement d'air, après on assiste à une légère diminution des valeurs de l'ACH pour  $\theta > 70^\circ$ .

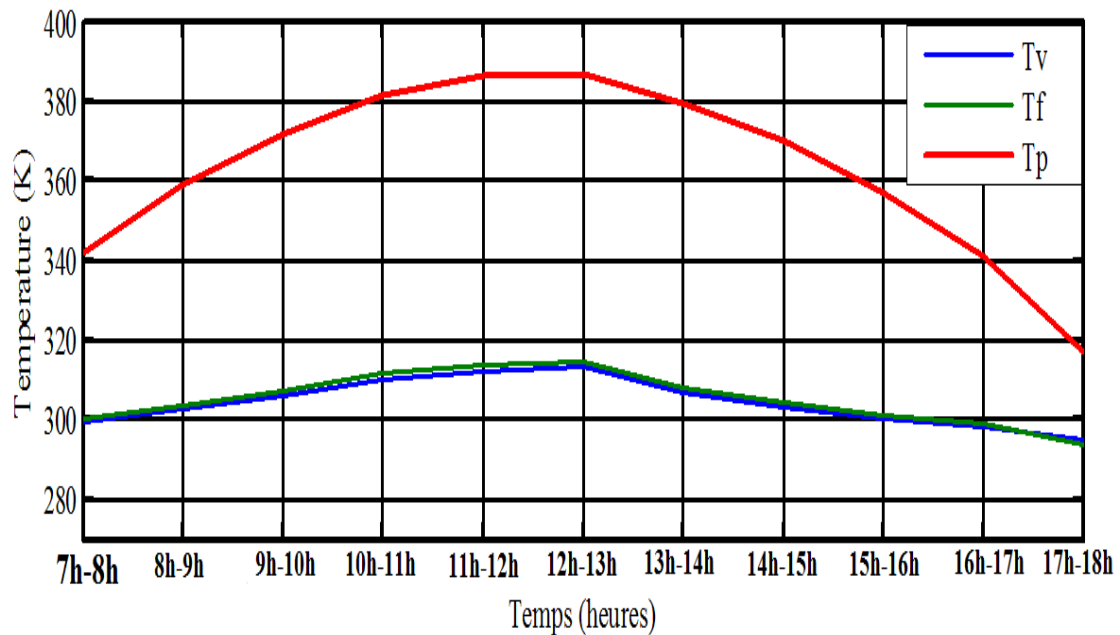
#### V.4 Conditions climatiques de Tlemcen :

Dans cette partie, on va examiner le comportement thermique de la cheminée solaire dans les conditions climatiques de Tlemcen pour les trois mois (Juin, Juillet, Août).



**Figure(V.8) : Variation horaire du rayonnement solaire global dans les trois mois (Juin, Juillet, Août)**

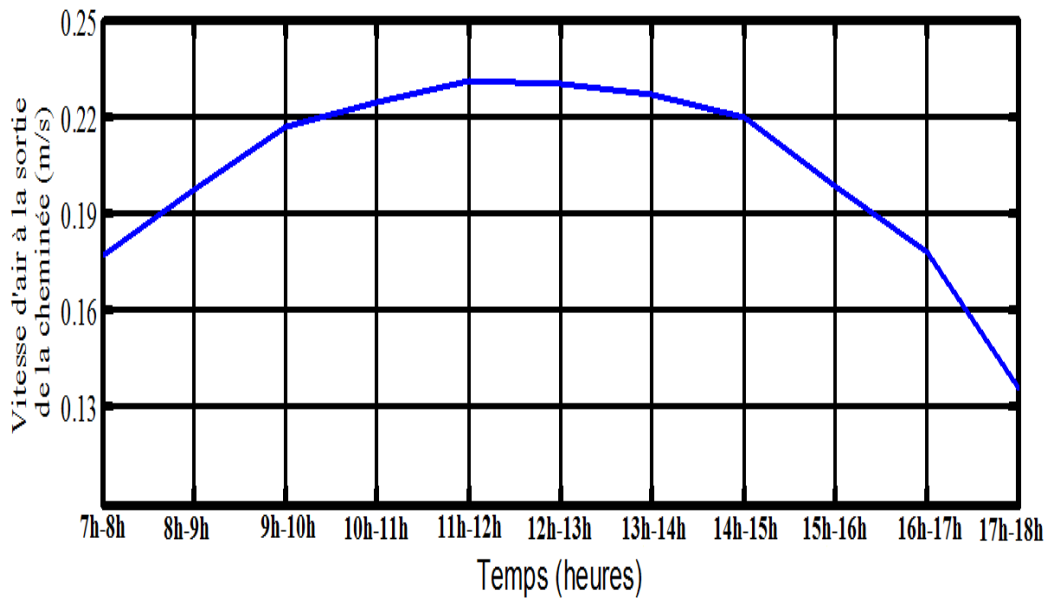
La figure(V.8) montre la variation horaire du rayonnement solaire global dans les trois mois (Juin, Juillet, Août). On constate que le mois de Juillet présente le rayonnement solaire le plus intense et que les moins intenses sont pour le mois de Juin.



**Figure(V.9) : L'évolution de la température de l'absorbeur, le vitrage et de fluide en fonction de temps.**

La figure(V.9) montre l'évolution de la température de l'absorbeur en fonction de temps pour le mois Juillet.

On remarque que la température de l'absorbeur varie linéairement durant l'intervalle de temps [7h, 13h], elle augmente de façon remarquable avec un taux de 13%. Le fluide atteint sa valeur maximale à 13 :00 et c'est l'heure de midi solaire ainsi qu'on peut aisément constater que le rayonnement influe considérablement sur la température de l'absorbeur puisque ce dernier absorbe presque la totalité du flux solaire incident ce qui provoque l'augmentation de sa température.



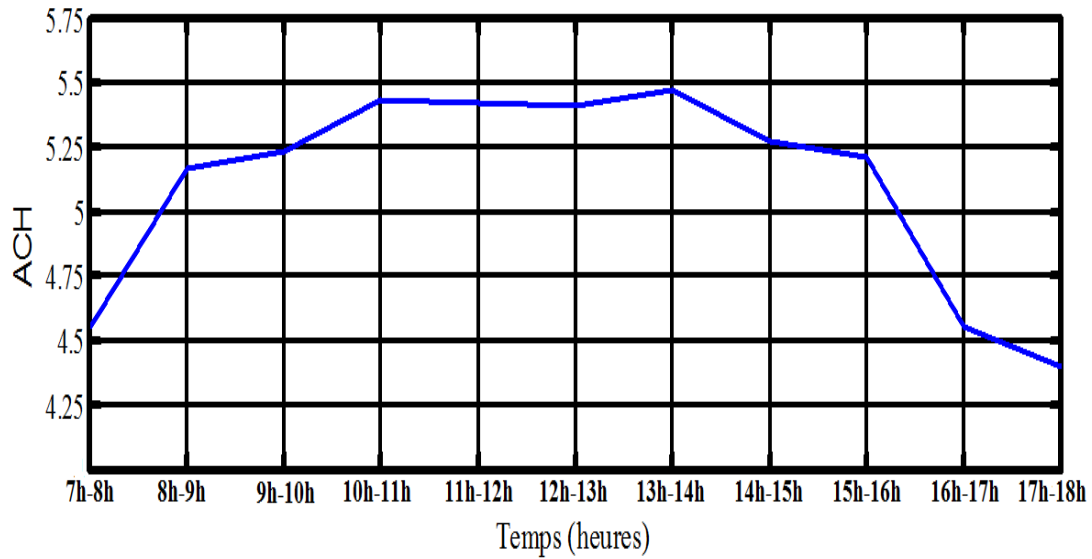
**Figure(V.10) : La variation de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée en fonction de temps.**

$$I = 750 \text{ w /m}^2$$

$$\text{et } \theta = 45^\circ$$

La figure(V.10) montre l'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée durant un intervalle de temps de la journée.

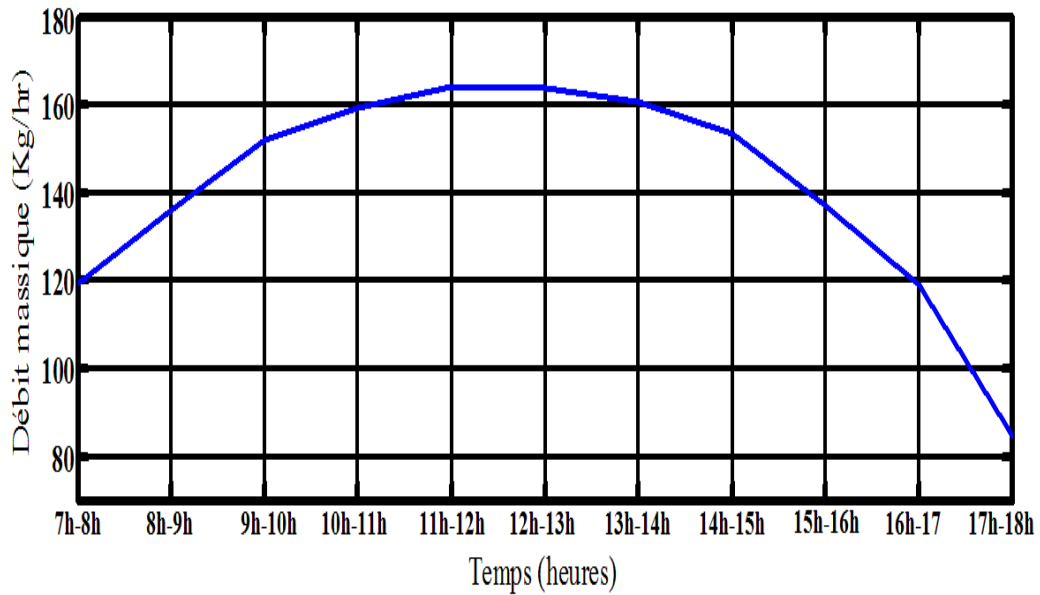
La vitesse atteint sa valeur maximale à 13 :00 avec un taux d'augmentation égale à 28%. L'intervalle de temps de 7:00 à 13 :00 contient les valeurs maximales de rayonnement solaire pour une journée du mois de juillet, et ça justifié l'augmentation remarquable de la vitesse puisque la relation est proportionnelle entre la vitesse et le rayonnement.



**Figure(V.11) : l'évolution de l'ACH en fonction de temps.**

La figure(V.11) montre l'évolution de taux de renouvellement d'air durant un intervalle de temps de la journée.

On remarque que l'augmentation de l'ACH est remarquable de 7 :00 à 9 :00 avec un taux de 13%, puis on assiste à une légère augmentation des valeurs de l'ACH jusqu'elle atteint sa valeur maximale à 13 :00, puis elle diminue jusqu'elle atteint sa valeur minimale à 18 :00.



**Figure(V.12) : L'évolution de débit massique d'air avec le temps.**

La figure(V.12) montre l'influence de l'évolution de débit massique d'air en fonction de temps.

On remarque que le débit massique d'air augmente de façon considérable avec le temps et il atteint sa valeur maximale à 13 :00(midi solaire). Le débit massique d'air varie linéairement avec le temps avec un taux d'augmentation égale à 37.5%.

---

# *Conclusion*

---

Dans ce travail, on a étudié Les performances de la cheminée solaire pour la ventilation et le rafraichissement des locaux. L'étude numérique du comportement : l'évolution des températures des différents composants, l'influence de certains paramètres sur les composants de la cheminée et la vitesse d'air à la sortie de la cheminée.

Une augmentation du flux solaire provoque une augmentation des températures de l'absorbeur et de vitrage et la température moyenne du fluide dans la cheminée, et sa diminution provoque aussi leur diminution.

Le fonctionnement de la cheminée dépend du rayonnement solaire, puisque la température augmente dans les locaux aux heures ensoleillées, la cheminée intervient pour la création d'un courant d'air à l'intérieur des locaux par la circulation dû au renouvellement d'air.

La comparaison des résultats obtenus pour différents angles d'inclinaison de la cheminée montrent que l'angle optimal pour le bon fonctionnement de cette dernière varie entre  $45^{\circ}$  et  $75^{\circ}$ . Le rendement de la cheminée solaire augmente avec l'augmentation du flux solaire qui va provoquer l'accroissance de la température de l'absorbeur, cette dernière influe sur la température d'air dans la cheminée et par conséquent crée une différence de température entre l'air dans la chambre et l'air dans la cheminée, donc le but est atteint pour le rafraichissement des locaux.

---

# Liste des figures :

---

## Chapitre I : étude bibliographique

Figure I.1 : Cheminée solaire.....	4
Figure I.2 : Dimension de la cheminée solaire vitrée.....	5
Figure I.3 : Sécheur solaire direct avec un circuit thermique.....	6
Figure I.4 : cheminée solaire.....	7
Figure I.5 : cheminée solaire inclinée.....	7
Figure I.6 : Schéma fonctionnelle d'un sécheur solaire.....	8

## Chapitre II : Gisement Solaire

Figure II.1 : La sphère céleste .....	13
Figure II.2 : Les coordonnées géographiques.....	14
Figure II.3 : Les coordonnés horaires.....	15
Figure II.4 : Les coordonnées horizontales.....	16

## Chapitre III : ventilation naturelle

Figure III.1 Principe générale de la ventilation naturelle .....	27
Figure III.2 Badgir ville de yazd Iran_ et maquaf égyptien .....	27
Figure III.3 L'unité d'habitation de Corbusier .....	28
Figure III.4 Composition spatiale du bâtiment et écoulement d'air .....	29
Figure III.5 Exemple d'intégration de conduits de ventilation naturelle.....	33
Figure III.6 Pression du vent sur un bâtiment .....	34
Figure III.7 Variation de pression hydrostatique au sein d'un fluide.....	38
Figure III.8 VMC simple flux.....	39



Figure III.9 VMC double flux .....	41
Figure III.10 Cheminée solaire de l'immeuble Michelin à Bordeaux .....	47
Figure III.11 Fonctionnement du système .....	48
Figure III.12 Cheminée extérieure .....	48
Figure III.13 Tours à vent Bibliothèque Lancaster Université de Coventry Angleterre .....	50
Figure III.14 Principe d'un Tour à vent .....	50
Figure III.15 Double peau cavité circulaire.....	52
Figure III.16 Cheminées d'entrées d'air d'un puits Canadien .....	53

#### **Chapitre IV : Déposition de problème**

Figure IV.1 : La cheminée solaire inclinée.....	57
Figure IV.2 : Bilan thermique au niveau de vitrage .....	58
Figure IV.3 : Bilan énergétique du fluide au niveau de la cheminée.....	59
Figure IV.4 : Déférents flux au niveau de l'absorbeur.....	61

#### **Chapitre V : Résultats et Discussions**

Figure (V.1) : L'évolution de la température de l'absorbeur, le fluide et de vitrage en fonction de l'intensité de rayonnement solaire.....	68
Figure (V.2) L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'intensité de rayonnement solaire. ....	69
Figure(V.3) L'évolution de l'ACH en fonction de l'intensité de rayonnement solaire.....	70
Figure (V.4) : L'évolution du débit massique d'air lors de la variation de rayonnement solaire.....	71

Figure (V.5): L'évolution des températures en fonction de l'inclinaison de la cheminée.....	72
Figure(V.6) : L'évolution de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée en fonction de l'inclinaison ( $\theta^\circ$ .....	73
Figure (V.7) : Figure(V.7) : L'évolution de l'ACH en fonction d'inclinaison de la cheminée solaire.....	74
Figure(V.8) : Variation horaire du rayonnement solaire global dans les trois mois (Juin, Juillet, Août).....	75
Figure(V.9) : l'évolution de la température de l'absorbeur, le vitrage et de fluide en fonction de temps.....	76
Figure(V.10) : La variation de la vitesse d'air à la sortie de la cheminée en fonction de temps.....	77
Figure(V.11) : l'évolution de l'ACH en fonction de temps.....	78
Figure(V.12) : l'évolution de débit massique d'air avec le temps.....	79

---

# Liste des tableaux

---

## Chapitre II : Gisement Solaire

Tableau II.1 : Coefficients de trouble du ciel .....	19
Tableau II.2 : Albédo typique de différents types de surfaces[15,20].....	20
Tableau II.3 : Potentiel solaire en Algérie.....	21

## Chapitre V : Résultats et Discussions :

Tableau(V.1) : Les valeurs de rayonnement solaire et les températures de la chambre et la température ambiante.....	66
Tableau(V.1) : Comparaison des résultats obtenus avec ceux de la référence [19].....	68

---

# Nomenclature

---

Notations principales	Unité
A : section	m <sup>2</sup>
A <sub>o</sub> : Section à la sortie de cheminée	m <sup>2</sup>
A <sub>i</sub> : Section d'admission à la cheminée	m <sup>2</sup>
ACH : Taux de renouvellement d'air par heure	sans
C <sub>d</sub> : Coefficient de décharge	sans
g: gravité	m/s <sup>2</sup>
H : hauteur	m
i : entrée	
o : sortie	
h <sub>c</sub> : Coefficient de transfert par convection	Wm <sup>-2</sup> k <sup>-1</sup>
h <sub>r</sub> : Coefficient de transfert par rayonnement	Wm <sup>-2</sup> k <sup>-1</sup>
h <sub>o</sub> : Coefficient de transfert à la sortie de la cheminée	Wm <sup>-2</sup> k <sup>-1</sup>
h <sub>i</sub> : Coefficient de transfert à l'entrée de la chambre	Wm <sup>-2</sup> k <sup>-1</sup>
I : rayonnement solaire	W m <sup>-2</sup>
L : longueur	m
L <sub>c</sub> : Longueur de la cheminée	m
L <sub>p</sub> : Longueur de l'absorbeur	m
L <sub>v</sub> : Longueur du vitrage	m
<i>m</i> : débit massique	kg s <sup>-1</sup>
N <sub>u</sub> : Nusselt	sans
q <sub>conv</sub> : Flux convectif	w
q <sub>loss</sub> : flux perdu	w
T : Température	K
U <sub>t</sub> : <i>coefficient de perte de chaleur globale</i>	

V : volume de la chambre	$m^3$
S = surface de l'ouverture	
v : vitesse de fluide à la sortie de la cheminée	$m s^{-1}$
Z = Altitude du point considéré pour la mesure.	
$\Delta P$ = Différence de pression entre les zones	
$\Delta \rho$ = Différence de masse volumique entre les masses d'air (Extérieure / intérieure ou entre deux zones intérieures)	
$\Delta H$ = Différence entre les hauteurs des entrées et sorties d'air	
D = débit volumique dû à la différence de pression entre air extérieur et air intérieur	
	$kg/m^3$
$\Delta T$ = différence entre la température de l'air extérieur et celle de l'air intérieur	

### **Lettres grecques**

$\alpha$ : Coefficient d'absorption	
$\beta$ : Facteur d'expansion	$k^{-1}$
$\varepsilon$ : Émissivité	
$\rho$ : Masse volumique	$Kg m^{-3}$
$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann	$w m^{-2} K^{-4}$
$\tau$ : Transmittivité	
$\eta_0$ : Le rendement optique	sans
$P_0$ : Pression au niveau de référence	Pascal

$\omega$  : Coefficient de linéarisation

### **Indice :**

a : Ambient

c : chambre

f : fluide

p : absorbeur

v : vitrage

### I.1. étude paravent :

Les cheminées solaires diffèrent des cheminées conventionnelles par le fait que leur mur méridional est remplacé par le vitrage, qui permet la collection et l'utilisation de l'irradiation solaire. Beaucoup de travaux, particulièrement les deux dernières décennies, ont illustré leurs avantages en montrant leur bas coût de maintenance et leur durabilité. Les cheminées solaires ont été traditionnellement utilisées dans l'agriculture pour le renouvellement d'air en granges, silos, serres chaudes, aussi bien que dans le séchage des récoltes.

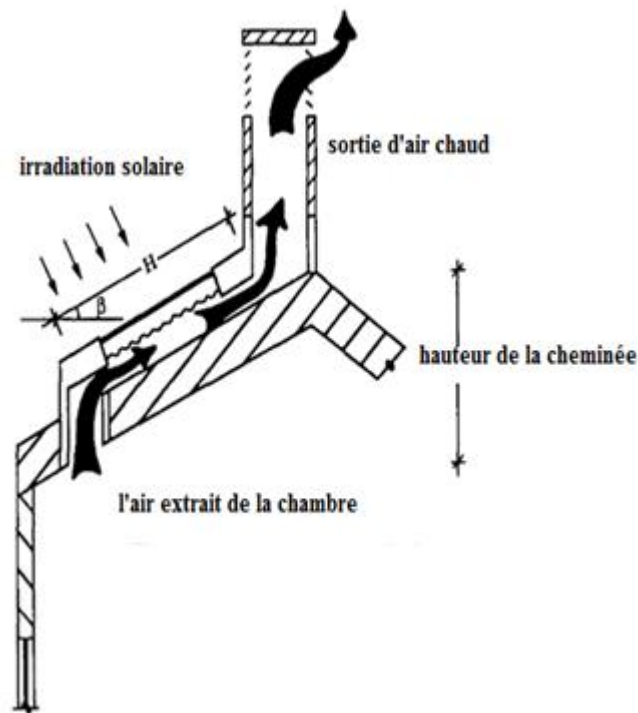
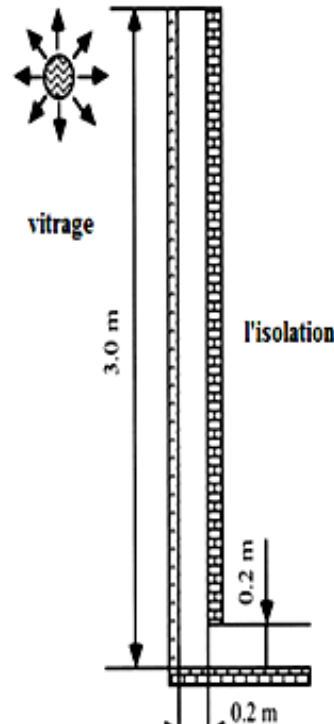


Figure I.1 Cheminée solaire [1]

N. K. Bansal et al. [1] ont étudiés en (1993) l'influence des sections d'entrée et sortie de la cheminée solaire sur le comportement thermique de cette dernière (Figure I.1). Les résultats montrent que pour une surface de

capteur de  $2.24\text{m}^2$  on aura un débit d'air évacué égale à  $140\text{ m}^3/\text{hr}$  et  $330\text{ m}^3/\text{hr}$  pour un rayonnement solaire de  $200\text{W}/\text{m}^2$  et  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , respectivement



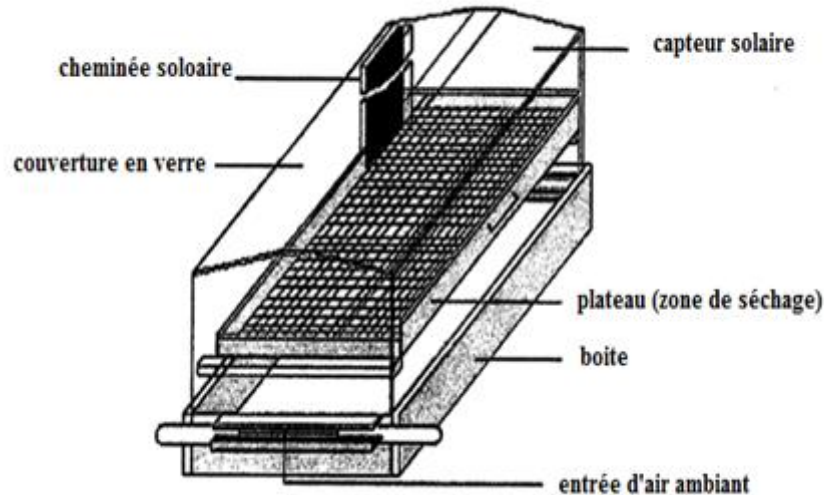
**Figure I.2 : dimension de la cheminée solaire vitrée**

**G. GAN et S.B Riffat[2]** ont étudiés en (1998) les problèmes posés par l'utilisation des cheminées solaires avec simple ou double vitrage. Ils ont montré que le triple vitrage peut réduire les risques de condensation et de courant d'air descendant possible en hiver froid (Figure I.2). L'utilisation des caloducs pour la récupération de chaleur dans la cheminée solaire augmente non seulement la chute de pression mais diminue également la flottabilité thermique et réduit par conséquent des taux de ventilation.

**P. Ghaba et al. [3]** ont traités un séchoir solaire simple (Figure I.3) dont le principe de fonctionnement est basé sur la convection naturelle. L'étude expérimentale montre également l'influence de divers paramètres



sur le processus de séchage tel que la température et le débit d'air pour établir des corrélations empiriques décrivant leurs caractéristiques.



**Figure I.3 : sécheur solaire direct avec un circuit thermique.**

**Ramadan Bassiouny et Nader S.A. Koura** [4] ont également étudiés en (2008) l'influence de certains paramètres sur le comportement thermique de la cheminée solaire pour optimiser sa conception (Figure I.3). Les résultats obtenus montrent que la largeur de la cheminée a une influence très important sur l'ACH (renouvellement d'air par heure) comparé à celle de la section d'admission. Les résultats prouvent qu'il y a une section optimale d'admission au-delà de laquelle l'ACH commence à diminuer. Il a été conclu que l'augmentation de la taille d'admission trois fois seulement améliore l'ACH par presque 11%. Cependant, l'augmentation de la largeur de cheminée par un facteur de trois a amélioré l'ACH par presque 25%, en gardant la section d'admission fixée.

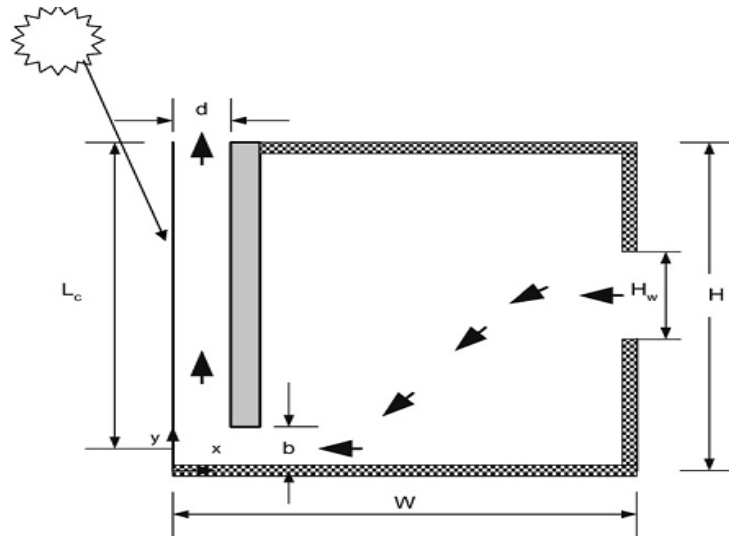


Figure I.4 : cheminée solaire

Ramadan Bassiouny et Nader S.A. Korah [5] ont étudiés par la suite une cheminée solaire placé sur un toit incliné (Figure I.5) pour voir l'influence de l'inclinaison sur le comportement thermique de la cheminée. Les résultats montrent que l'inclinaison influe considérablement sur le taux de ventilation et sur le débit d'air qui traverse la cheminée. Cette étude montre que l'angle optimal d'inclinaison de la cheminée varie entre  $45^{\circ}$  et  $75^{\circ}$  pour une latitude de  $28.4^{\circ}$ .

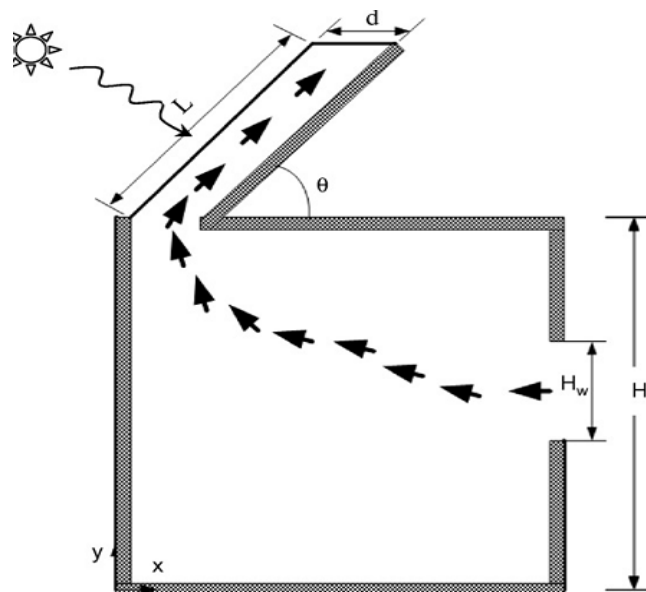
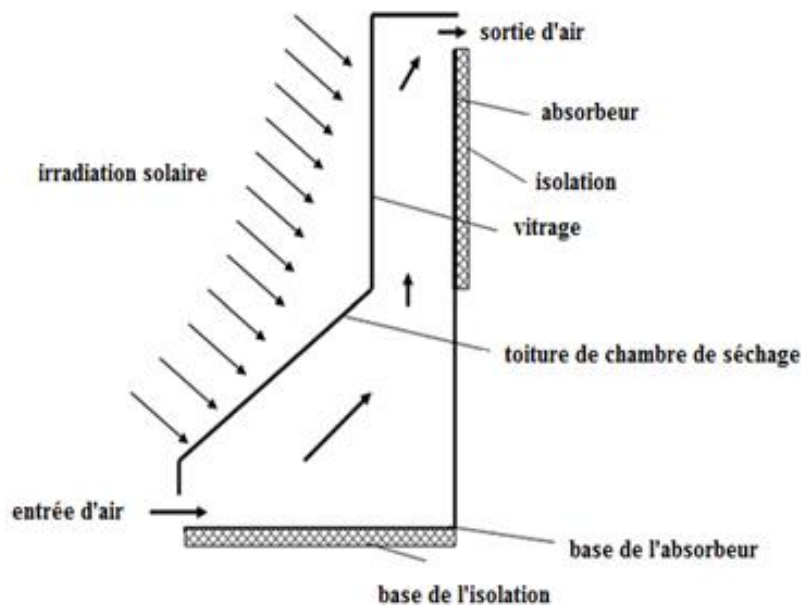


Figure I.5 : cheminée solaire inclinée

**J.K. Afriyie et al. [6]** ont étudiés un autre type de séchoir solaire muni d'une toiture inclinée. L'étude est basée sur l'influence de l'inclinaison de la toiture de la chambre et les dimensions de la cheminée sur le processus de séchage.

L'inclinaison du toit de la chambre de séchage et la taille de cheminée sont critiques pour la conception d'un séchoir solaire dans les régions géographiques loin de l'équateur. Tandis que, les paramètres décisifs dans les régions près de l'équateur sont la taille de la chambre de séchage et le rapport de la section absorbeur et la section transversale de cheminée. Une grande chambre de séchage avec une cheminée solaire étroite est généralement favorisée aux endroits près de l'équateur alors qu'une petite chambre de séchage avec une haute cheminée solaire convient mieux aux régions reculées de l'équateur.



**Figure I.6 : schéma fonctionnelle d'un séchoir solaire.**

Les résultats de la simulation numérique montrent qu'il y a une relation linéaire entre l'angle d'inclinaison et la surface d'entrée. Le renouvellement d'air peut être estimé à l'aide d'une corrélation de la forme :

$$ACH = 0.795 \sin(\theta^{0.3189} I^{0.3818} d^{0.1658}) \quad [5] \quad I.1$$

Avec une erreur de 20% approximativement sous les limitations suivantes :  
intensité  $\geq 500$  W/m<sup>2</sup> et un d compris entre 0,1 et 0,35 m.

---

# References

---

- [1] [N. K. BANSAL et al], << Solar Chimney for Ventilation >>, Enhanced Stack building and environment, pp. 373-377, 1993.
- [2] [G. Gan et al], << A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery >>, Applied Thermal Engineering pp1171-1187, 1998.
- [3] [P. Gbaha et al ], <<Renewable Energy >> ,pp 1817–1829, 2007.
- [4] [Ramadan Bassiouny et al], <<An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation>>, Energy and Buildings, pp 865–873, 2008.
- [5] [Ramadan Bassiouny et al], << Effect of solar chimney inclination angle on space flow pattern and ventilation rate >>, Energy and Buildings pp.190–196, 2009.
- [6] [J. K. Afriyie et al], << Simulation and optimization of the ventilation in a chimney-dependent solar crop dryer >>, Solar Energy pp 1560–1573, 2011.
- [7] [ANDREW D.C], <<A Model for Simulating the performance of shallow pond as supplemental heat rejecter with closed-loop ground-source heat pump systems>>, American society of heating, pp107-121, 2000.
- [8] [DAGUENET M], <<les séchoirs solaires, théorie et pratique>>, Unisco, paris ,1985.
- [9] [DUFFIE J. A et al], <<Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons, New York>>, 1974.
- [10] [SAYIGH A.A et al], <<Characteristics of solar radiation >>, Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.
- [11] [BESSEMOULIN P et al], << Le rayonnement solaire et sa composante Ultraviolette >>, La Météorologie, pp 42-59, 2000.

[12] [KREITH F et al], <<Principles of solar engineering, Hemisphere Publishing Corporation>>, Washington, 1978.

[13] [BERNARD R et al], <<Le Rayonnement solaire conversion, Technique et documentation, Paris, 1980.

[14] [MARIO MULE], << Ventilation naturelle dans l'habitat >> mémoire présenté par dans le cadre de la formation "Rénovation Ecologique" délivrée par L'école Nationale supérieure d'Architecture de Lyon, décembre 2011.

[15] <<Guide de la ventilation naturelle et hybride "VNHY" :  
Conception Dimensionnement Mise en œuvre Maintenance >>, édition septembre 2010.

[16]\_ [www.crit.archi.fr](http://www.crit.archi.fr)

[17] [C, Gallo et al], <<Architecture: comfort and energy>>, 1988.

[18] [Nick Baker et al], <<Energy and Environment in Architecture A Technical Design Guide>>, 2005.

[19] Tyotirmay Mathur et al], <<Summer-performance of inclined roof solar chimney of naturel ventilation>>, Energy and Buildings, pp1156-1163, 2006.

[20] [M. Raoust (Terao) et al], <<ventilation naturelle et ventilation mécanique dans les bâtiments à haute qualité environnementale

Rayonnement solaire (W/m <sup>2</sup> )	Température de l'absorbeur (K)			Température de fluide [K]			Vitesse d'air A la sortie de La cheminée (m/s)		
	Théorique [19]	expérimentale [19]	Résultats obtenus	Théorique [19]	Expérimental [19]	Résultats obtenus	Théorique [19]	Expérimental [19]	Résultats obtenus
500	344,4653	329,04	349.4809	300.9653	306.93	300.1326	0,1517	0,174	0.1679
550	351,016	340,65	355.9008	304.13637	308.95	303.7967	0,1563	0,184	0.1725
600	358,2759	346,28	361.9820	308.30959	312.22	307.3055	0,1613	0,1948	0.1802
650	365,4034	354,66	368.3794	312.48205	316.82	311.5652	0,1639	0,1979	0.1839
700	370,7026	358,49	373.1673	314.64314	319.07	313.6289	0,1724	0,2132	0.1886
750	375,0554	361,38	377.0606	315.79669	320.75	314.4941	0,1761	0,2201	0.1937

**Tableau(V.1) : Comparaison des résultats obtenus avec ceux de la référence [19].**